

Integrasi Discrete Wavelet Transform dan Singular Value Decomposition pada *Watermarking* Citra untuk Perlindungan Hak Cipta

Jaya Chandra

Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Nusa Mandiri

Email: jaya_1184@yahoo.com

Romi Satria Wahono

Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro

Email: romi@brainmatics.com

Abstrak: Tren masalah *watermarking* pada sekarang ini adalah bagaimana mengoptimalkan *trade-off* antara *imperceptibility* (visibilitas) citra ter-*watermark* terhadap pengaruh distorsi dan *robustness* terhadap penyisipan *watermark*. Masalah menggunakan kekuatan penyisipan berdasarkan *Single Scaling Factor (SSF)* atau *Multiple Scaling Factor (MSF)* juga ditemukan. Penelitian ini mengusulkan metode penyisipan *watermark* untuk perlindungan hak cipta pada citra dan algoritma ekstraksi citra ter-*watermark* yang dioptimalkan dengan penggabungan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Singular Value Decomposition (SVD)*. Nilai-nilai *singular* dari *LL3* koefisien *sub-band* dari citra *host* dimodifikasi menggunakan nilai tunggal citra *watermark* biner menggunakan *MSFs*. Kontribusi utama dari skema yang diusulkan adalah aplikasi *DWT-SVD* untuk mengidentifikasi beberapa faktor skala yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skema yang diusulkan menghasilkan nilai *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* yang tinggi, yang menunjukkan bahwa kualitas visual gambar yang baik pada masalah citra *watermarking* telah mengoptimalkan *trade-off*. *Trade-off* antara *imperceptibility* (visibilitas) citra ter-*watermark* terhadap pengaruh distorsi dan *robustness* citra ter-*watermark* terhadap operasi pengolahan citra. Nilai *PSNR* yang didapat pada citra yang diujikan: *baboon*=53,184; *boat*=53,328; *cameraman*=53,700; *lena*=53,668; *man*=53,328; dan *pepper* sebesar 52,662. Delapan perlakuan khusus pada hasil citra ter-*watermark* diujikan dan diekstraksi kembali yaitu *JPEG 5%*, *Noise 5%*, *Gaussian filter 3x3*, *Sharpening*, *Histogram Equalization*, *Scaling 512-256*, *Gray Quantitation 1bit*, dan *Cropping 1/8*. Hasil dari perlakuan khusus kemudian diukur nilai *Normalized Cross-Correlation (NC)* yang menghasilkan rata-rata semua citra diperoleh sebesar 0,999 dari satu. Hasil penelitian dari metode yang diusulkan lebih unggul nilai *PSNR* dan *NC* dari penelitian sebelumnya. Jadi dapat disimpulkan bahwa penerapan dengan metode *DWT-SVD* ini mampu menghasilkan citra yang *robust* namun memiliki tingkat *imperceptibility* yang cukup tinggi.

Keywords: *Image Watermarking*, *Discrete Wavelet Transform*, *Singular Value Decomposition*, *Normalized Cross Correlation*, *Robustness*.

1 PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya pertumbuhan penggunaan internet, citra atau gambar digital dapat menyebar ke seluruh dunia hanya dengan satu klik pada tombol mouse. Hal ini menyebabkan kerentanan citra digital (Qiao & Nahrstedt,

1998) dan menghasilkan pertanyaan logis pada hak ciptanya (Mohammad, Alhaj, & Shaltaf, 2008), lalu ada berbagai teknik keamanan informasi yang dapat menangani masalah hak cipta.

Watermarking citra digital adalah proses penyisipan informasi digital atau penanaman kode tertentu seperti gambar logo atau gambar rahasia (Run, Horng, Lai, Kao, & Chen, 2012) ke dalam citra sedemikian rupa sehingga citra yang ter-*watermark* atau citra yang sudah disisipkan suatu kode tertentu (Mohammad et al., 2008), dapat dideteksi atau diekstrak serta tanpa menurunkan kualitas citra tersebut.

Dalam *image watermarking*, terdapat dua kriteria utama yang wajib dipenuhi. Ini adalah (1) *imperceptibility* citra yang tertanam *watermark* dan (2) *robustness* atau ketahanan skema penyisipan *watermark*. Berdasarkan kriteria tersebut, teknik *watermarking* dapat secara luas diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: *robust* (kuat), *fragile* (rapuh) dan *semi-fragile* (semi-rapuh) (Cox, Kilian, Leighton, & Shmoon, 1997).

Pada penelitian sebelumnya (J. C. Liu & Chen, 2001; Nikolaidis & Nikolaidis, 1998) *fragile watermarking* dilakukan pada citra domain spasial, *watermark* secara langsung dimasukkan ke dalam permukaan citra dengan mengubah nilai piksel. Hal ini menyebabkan penerapan yang mudah dan biaya operasi yang rendah, akan tetapi umumnya tidak kuat dalam menghadapi serangan atau modifikasi yang sah. Sebaliknya metode domain frekuensi mengubah gambar kedalam domain frekuensi dan kemudian memodifikasi koefisien frekuensi untuk menanamkan *watermark* sehingga kuat terhadap serangan.

Ada banyak tehnik dalam mengubah domain *watermarking* seperti: *Discrete Cosine Transform (DCT)* (Briassouli & Strintzis, 2004; Hernández, Amado, & Pérez-González, 2000; Patra, Phua, & Bornand, 2010), *Singular Value Decomposition (SVD)* (Ali, Ahn, & Pant, 2014; Aslantas, 2009; Chang, Tsai, & Lin, 2005; Dogan, Tuncer, Avci, & Gulten, 2011; Jia, 2014; Lai, 2011b; Run et al., 2012) dan *Discrete Wavelete Transform (DWT)* (Ali & Ahn, 2014; Lai & Tsai, 2010; Olkkonen, 2011; Van Fleet, 2011; M.-S. Wang & Chen, 2009; Xianghong, Lu, Lianjie, & Yamei, 2004)

Analisis frekuensi domain digunakan untuk menentukan lokasi yang mungkin untuk penyisipan koefisien *watermark* dan untuk memastikan ketahanan atau *robustness* yang lebih kuat dalam algoritma penyisipan. Mata manusia lebih sensitif terhadap frekuensi rendah dan menengah pada pita koefisien, oleh karena itu, teknik transform domain bekerja dengan baik jika *watermark* tertanam dalam koefisien frekuensi rendah dari citra (Cox et al., 1997; Nikolaidis & Nikolaidis, 1998). Selain itu, pada penelitian sebelumnya diantara metode transformasi domain yang ada (Ali & Ahn, 2014; Lai & Tsai, 2010; M.-S.

Wang & Chen, 2009), DWT lebih baik dalam mencapai *robust watermarking* dan *imperceptibility* yang mengarah pada kualitas hasil citra yang baik.

Selama beberapa tahun terakhir, *SVD* digunakan sebagai metode baru untuk *watermarking* (Ali et al., 2014; Jia, 2014; Lai, 2011b; Run et al., 2012), membawa cara pandang yang baru dari suatu citra dan informasi struktural yang sangat penting untuk prediksi kualitas citra. Modifikasi dalam vektor tunggal berhubungan dengan nilai tunggal, dimana secara dasar merupakan perwakilan dalam pencahayaan citra tersebut.

Algoritma evolusioner seperti *Particle Swarm Optimization (PSO)* (Findik, Babaoğlu, & Ülker, 2010; Run et al., 2012; Y.-R. Wang, Lin, & Yang, 2011), *Genetic Algorithm (GA)* (Kumsawat, Attakitmongcol, & Srikaew, 2005; Shieh, Huang, Wang, & Pan, 2004), *Bacterial foraging* (Huang, Chen, & Abraham, 2010) telah banyak digunakan untuk *watermarking* citra. Kebanyakan teknik evolusi yang ada digunakan untuk mengidentifikasi koefisien citra dalam mengubah domain untuk menanamkan *watermark* (Huang et al., 2010; Shieh et al., 2004; Y.-R. Wang et al., 2011).

Seperti disebutkan di atas, masalah menemukan nilai optimal *Multiple Scaling Factors (MSFs)* dapat diselesaikan dengan menggabungkan teknik evolusi dengan teknik transformasi (Ishtiaq, Sikandar, Jaffar, & Khan, 2010; Lai, 2011a; Loukhaoukha, 2011) telah menggunakan algoritma *tiny genetic (Tiny-GA)* dengan *SVD* untuk menemukan nilai *MSFs*.

Dalam penelitian ini kami mengusulkan metode *Discrete Wavelet Transform* yang dipadu dengan *Singular Value Decomposition* untuk melakukan optimalisasi nilai *MSFs* dari *Discrete Wavelet Transform* dengan *Singular Value Decomposition* berkaitan dengan rentannya citra *watermark* terhadap distorsi sehingga menyulitkan proses ekstraksi citra dan pada akhirnya dapat mengurangi kualitas *watermark* citra hasil dari ekstraksi tersebut.

Paper ini disusun sebagai berikut: pada bagian 2 paper-paper terkait dijelaskan. Pada bagian 3, metode yang diusulkan disajikan. Hasil percobaan perbandingan antara metode yang diusulkan dengan metode lainnya disajikan pada bagian 4. Akhirnya, kesimpulan dari penelitian kami disajikan pada bagian terakhir.

2 PENELITIAN TERKAIT

SVD digunakan untuk *watermarking* (F. L. F. Liu & Liu, 2008). Dalam algoritma ini, mereka menghitung nilai-nilai singular dari citra *host* dan kemudian memodifikasinya dengan menambahkan *watermark*. Mereka juga menerapkan transformasi *SVD* pada matriks yang dihasilkan untuk menemukan nilai-nilai tunggal yang dimodifikasi. Nilai-nilai singular digabungkan dengan *watermark* untuk mendapatkan gambar *watermark*. Sedangkan untuk ekstraksi *watermark*, digunakan proses terbalik (*reversible*). *Watermarking* berbasis *SVD* telah diusulkan oleh berbagai peneliti (Ali et al., 2014; Aslantas, 2009; F. L. F. Liu & Liu, 2008; Mohammad et al., 2008; Patra et al., 2010) menggunakan nilai konstan skala faktor tunggal (*SSF*).

Penelitian konvensional pada *watermarking* citra terbatas pada penggunaan formulasi matematika standar seperti: *DCT*, *DWT*, *SVD*, dan varian hibrid lainnya seperti: *DCT-DWT*, *DCT-SVD*, dan *DWT-SVD*. *Watermark* disisipkan ke dalam citra *host* dengan menggunakan persamaan matematika yang secara tradisional memakai kekuatan penyisipan berdasarkan *single scaling value*. Kekuatan penyisipan atau faktor skala adalah jumlah modifikasi yang disebabkan oleh *watermark* di media aslinya. Dalam *watermarking* citra digital, umumnya

satu atau nilai konstan faktor skala digunakan untuk menanamkan *watermark* dalam seluruh *host* citra.

PSO diterapkan (Ishtiaq et al., 2010) untuk menemukan *MSFs* dalam domain *DCT*. Mereka menggunakan *PSNR* sebagai fungsi tujuan untuk mengevaluasi setiap partikel. Kelemahan utama dari algoritma ini adalah bahwa ia hanya berfokus pada kualitas visual gambar *watermark* tanpa memperhitungkan faktor *robustness* (ketahanan) *Multi Objective Ant Colony Optimization (MOACO)* pada domain *LWT-SVD* (Loukhaoukha, 2013) untuk menemukan nilai-nilai *MSFs*. Fungsi tujuan mereka adalah formulasi *exponential weighted* sebagai berikut:

linier dapat ditulis:

$$F_{obj}(x) = \sum_{i=1}^{T+2} (e^{p.w} - 1) e^{p(F(X)-F_0)} \quad (1)$$

dimana p , w dan F_0 adalah konstanta positif, $F(X)$ adalah vektor nilai-nilai obyektif dan T adalah jumlah yang dipilih operasi pengolahan citra. *MSFs* (Ishtiaq et al., 2010; Loukhaoukha, 2013) skema *watermarking* berbasis *MOACO* melebihi skema *SSF watermarking* yang berbeda dalam hal

Penelitian yang dilakukan oleh Xianghong et al (2004) menggunakan algoritma penyisipan *watermark* berdasarkan karakteristik *DWT* dan *VT*, dan juga menggunakan *properti Human Visual System (HVS)*. Xianghong bereksperimen menggunakan enam citra abu-abu (256 x 256) yaitu: *Baboon*, *Boat*, *Lena*, *Cameraman*, *Man*, *Peppers* dan 1 citra *binary* (32 x 32) sebagai citra yang disisipkan.

Sedangkan Loukhaoukha (2011) menggunakan algoritma penyisipan *watermark* berdasarkan *Liflet Wavelet Transform (LWT)* dan dengan *Singular Value Decomposition (SVD)* digunakan untuk mencari *Single Scaling Factor (SSF)* dari biner *watermark* yang ditanam dalam domain *sub-band* untuk mencapai ketahanan (*robustness*) yang optimal tanpa kehilangan transparansi *watermark (imperceptibility)*.

Hasil percobaan Loukhaoukha menunjukkan bahwa untuk mencapai tingkat *robustness* yang tertinggi tanpa mengurangi *imperceptibility* diperlukan *Multi Scaling Factor (MSF)*. *LWT+SVD* dengan *MSF* pada skema *watermarking* melebihi *SSF* dalam hal *Imperceptibility* dan *Robustness*.

Ishtiaq et al (2010) menggunakan algoritma penyisipan *watermark* berdasarkan karakteristik *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Particle Swarm Optimization (PSO)*. *PSO* digunakan untuk menentukan skala faktor *watermark* yang optimal, dalam *PSO* setiap partisi mewakili satu solusi lengkap, dalam hal ini partisi yang dimaksud adalah koefisien dari tiap-tiap *watermark* yang terpilih.

Melihat dari hasil penelitian (Ishtiaq et al., 2010), disimpulkan bahwa hasil percobaan Ishtiaq menunjukkan model penelitian dengan *Particle Swarm Optimization* digunakan untuk mengoptimalkan kekuatan *watermark* dalam domain *DCT*. Metode yang diusulkan menunjukkan hasil yang lebih baik terhadap serangan yang berbeda, seperti pemberian *noise*, *low-pass filter*, *high-pass filter*, *filter median* dan *cropping*.

Berdasarkan uraian diatas terdapat perbedaan metode *watermarking* yang digunakan, namun data citra yang digunakan adalah sama yaitu data standar enam citra yaitu: *'Baboon'*, *'Boat'*, *'Lena'*, *'Cameraman'*, *'Man'*, *'Peppers'*, dan 1 citra sebagai logo atau *watermark* yang akan digunakan dengan ukuran 256x256 pixel. Masalah penelitian yang dihadapi adalah sulitnya menentukan nilai parameter *MSF* yang optimal agar citra ter-*watermark* dapat mempunyai ketahanan (*robustness*) terhadap serangan dan sekaligus dapat

sama atau mirip dengan aslinya atau biasa disebut memiliki *imperceptibility* yang tinggi.

Sebagai alat evaluasi yang digunakan pada beberapa penelitian diatas adalah menggunakan *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* dan *Normalized Cross-Correlation (NC)*.

Peak Signal to Noise Ratio adalah pengukur yang banyak digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan antara citra asli dengan citra hasil konstruksi (Cheddad, Condell, Curran, & Mc Kevitt, 2010). *PSNR* digunakan untuk mengukur kualitas gambar (M.-S. Wang & Chen, 2009). Persamaan *PSNR* dinyatakan dalam satuan dB:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{l_{max}^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

Dimana l_{max}^2 adalah nilai pixel maksimum yang mungkin dari image l , dan MSE adalah *Mean Square Error* yang didefinisikan sebagai:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (S_{xy} - l_{xy})^2 \quad (3)$$

Dimana x dan y adalah koordinat citra, M dan N adalah dimensi dari citra, S_{xy} adalah *watermark*, dan l_{xy} adalah citra *host*.

PSNR sering dinyatakan pada skala logaritmik dalam desibel (dB). Jika nilai *PSNR* jatuh dibawah 30dB menunjukkan kualitas citra yang cukup rendah (Cheddad et al., 2010), jika diatas atau sama dengan 40db maka menunjukkan kualitas citra yang tinggi.

NC (Normalized Cross-Correlation) merupakan salah satu alat ukur yang digunakan untuk menguji ketahanan (*robustness*) pada suatu citra. Citra ter-*watermark* diuji dengan sebelumnya melakukan beberapa serangan *malicious* dan *non malicious* untuk proteksi citra digital (Qiao & Nahrstedt, 1998; Run et al., 2012; Tan & Liu, 2008; M.-S. Wang & Chen, 2007). Berikut adalah persamaan matematikanya:

$$NC(W, W') = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [W(i,j).W'(i,j)]}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (W(i,j))^2} \quad (4)$$

Dimana W adalah *watermark* asli, dan W' adalah *watermark* hasil ekstraksi citra ter-*watermark*.

Pada penelitian ini kami akan menerapkan metode *Discrete Wavelet Transform* yang dipadu dengan *Singular Value Decomposition* untuk melakukan optimalisasi nilai *MSFs* dari *Discrete Wavelet Transform* dengan *Singular Value Decomposition* berkaitan dengan rentannya citra ter-*watermark* terhadap distorsi sehingga menyulitkan proses ekstraksi citra dan pada akhirnya dapat mengurangi kualitas *watermark* citra hasil dari ekstraksi tersebut. Kemudian untuk membuktikan kehandalan metode yang telah diusulkan, dengan metode-metode *watermarking* lainnya untuk perlindungan hak cipta citra. Penelitian ini membandingkan hasil dengan penelitian terkait (Loukhaoukha, 2011) dan (Ishtiaq et al., 2010) pengukurannya dalam *Normalized Cross Correlation (NC)* dan *Peak Signal Noise Ratio (PSNR)*. Berdasarkan percobaan, dapat disimpulkan *SVD* telah terbukti menjadi metode yang sukses dan *sufficient* untuk *penyisipan* dan ekstraksi *watermark* pada citra digital dalam mencapai citra ter-*watermark* yang robust dan mempunyai tingkat *imperceptibility* yang tinggi.

3 METODE YANG DIUSULKAN

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah *dataset* citra standar, citra yang digunakan adalah Standar enam Citra: *Lena, Baboon, Cameraman, Peppers, Boat, dan Man*. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini dapat diperoleh melalui situs:

http://www.imageprocessingplace.com/downloads_V3/root_d_downloads/image_databases/standard_test_images.zip.

Seperti pada Tabel 1 data citra yang berupa gambar ini memiliki ekstensi *.TIFF.yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Dataset* Standar Enam Citra

Data citra	Ekstension	Format	Ukuran
	*.TIFF	RGB	512 x 512 pixel
	*.TIFF	RGB	512 x 512 pixel
	*.TIFF	RGB	512 x 512 pixel
	*.TIFF	Grey-scale	512 x 512 pixel
	*.TIFF	Grey-scale	512 x 512 pixel
	*.TIFF	Grey-scale	512 x 512 pixel
	*.PNG	Grey-scale	721 x 721 pixel

Pada Tabel 1 terlihat enam Data Citra Standar dengan satu citra logo yang akan dijadikan *watermark*. Ekstension Citra Standar awal adalah .TIFF dengan *format Red Grey Black (RGB)* yaitu citra *Lena, Baboon, Peppers* dan ada beberapa dengan *format Grey Scale* yaitu citra *Cameraman, Man, dan Boat*, dengan ukuran seluruh citra standar sebesar 512 x 512 *pixel* dan satu logo *watermark* dengan ukuran 721 x 721 *pixel*.

Pada tahap awal pengolahan data (*preprocessing*), kami melakukan konversi untuk citra yang berbentuk RGB diubah kedalam bentuk *grey-scale* dengan ekstension *.jpg, dengan ukuran 256x256. Logo yang akan disisipkan juga terlebih dahulu konversikan menjadi 256x256, dengan ekstension *.jpg. hasil konversi citra dari format RGB ke dalam *grey-scale*, konversi ukuran 256x256, dan ekstension *.jpg dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Standar 6 Citra Setelah Dilakukan Preprocessing

Input awal	Output			
	Data citra	Ekstensi	Format	Ukuran
		*.jpg	Grey scale	256x256 pixel
		*.jpg	Grey scale	256x256 pixel
		*.jpg	Grey scale	256x256 pixel
		*.jpg	Grey scale	256x256 pixel
		*.jpg	Grey scale	256x256 pixel
		*.jpg	Grey scale	256x256 pixel
		*.jpg	Grey scale	256x256 pixel

Selanjutnya kami mengusulkan metode yang disebut DWT+SVD pada fitur penyisipan watermark yang mana SVD digunakan untuk mengoptimasi parameter MSF pada DWT untuk mendapatkan hasil citra ter-watermark yang *robust* dan *impercept*.

Multi Scaling Factor (MSF) merupakan parameter yang mengontrol *trade-off* antara *imperceptibility* dan *robustness*. Dalam penelitian ini MSF ditentukan dengan menggunakan SVD. Berikut adalah algoritma dalam penentuan MSF pada penyisipan watermark:

1. Input *host* dan *watermark*
2. Cari *LL, HL, LH, HH* dengan rumus $DWT2(host)$
3. Cari $w_{LL}, w_{HL}, w_{LH}, w_{HH}$ dengan rumus $DWT2(watermark)$
4. Cari U, S, V dengan rumus $SVD(HH)$
5. Cari U_w, S_w, V_w dengan rumus $SVD(w_{HH})$
6. Cari nilai msf dengan rumus $\max(\sum(V_w * U_w) / (V_w * U_w)) / 10$.

Pada Gambar 1. Terlihat proses penyisipan pada watermarking citra. Tahapan proses penyisipan watermark dari metode DWT-SVD adalah sebagai berikut:

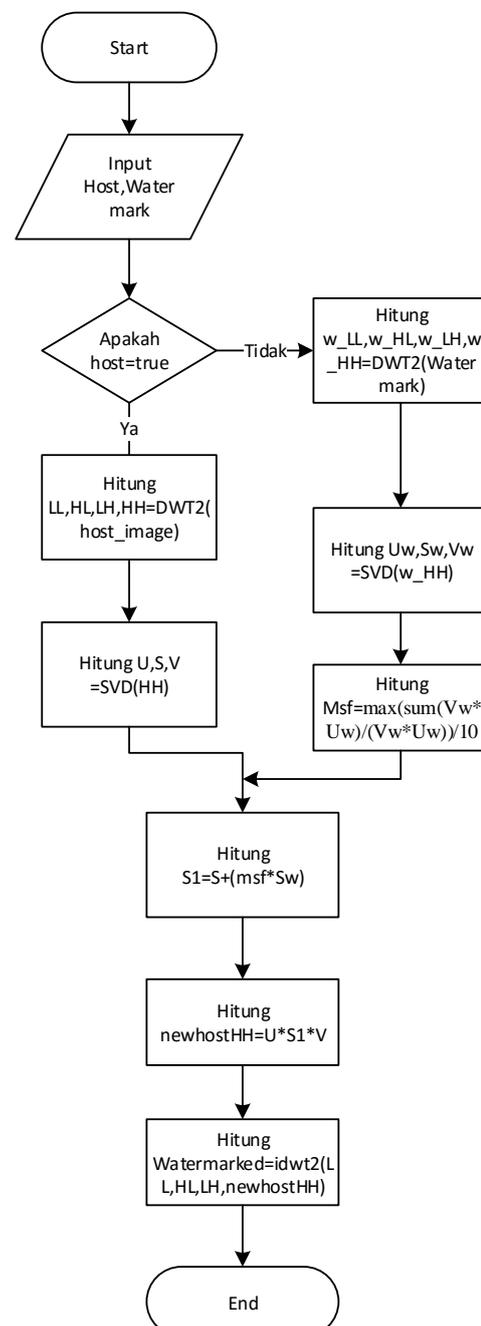
1. Input *host* dan *watermark*
2. Cari *LL, HL, LH, HH* dengan rumus $DWT2(host)$
3. Cari $w_{LL}, w_{HL}, w_{LH}, w_{HH}$ dengan rumus $DWT2(watermark)$
4. Cari U, S, V dengan rumus $SVD(HH)$
5. Cari U_w, S_w, V_w dengan rumus $SVD(w_{HH})$

6. Cari nilai msf dengan rumus $\max(\sum(V_w * U_w) / (V_w * U_w)) / 10$
7. Tentukan dan cari koefisien *SI* dengan rumus $S + (msf * S_w)$
8. Cari *newhostHH* dengan rumus $U * S_1 * V$
9. Kemudian cari citra ter-watermark dengan rumus $IDWT2(LL, HL, LH, newhostHH)$

SVD adalah teknik numerik digunakan untuk diagonal matriks dalam analisis numerik dan merupakan sebuah algoritma yang dikembangkan untuk berbagai aplikasi. Dekomposisi nilai tunggal atau *Singular Value Decomposition* merupakan turunan dari teori aljabar linier (Tan & Liu, 2008). SVD dapat direpresentasikan secara matematis sebagai berikut:

$$A = U S V^T \tag{5}$$

Dimana U dan V adalah matriks ortogonal, dimana kolom U adalah vektor tunggal kiri dan kolom V adalah vektor tunggal kanan dari matriks persegi A .



Gambar 1. Metode Penelitian Penyisipan yang Diusulkan

Proses penyisipan logo *watermark* pada citra *host* dimulai dengan input citra yang akan menjadi inang (*host*), lalu dilanjutkan dengan memasukkan logo *watermark* yang merupakan citra logo yang akan ditanam atau disisipkan pada citra *host*. Kemudian dilakukan proses pemecahan koefisien citra *host* dengan discrete wavelet transform didapat empat sub-band. Setiap tingkat dekomposisi dari (*DWT*) memisahkan gambar menjadi empat *sub-band* yaitu komponen pendekatan resolusi yang lebih rendah (*LL*) dan tiga lainnya sesuai dengan horizontal (*HL*), vertikal (*LH*) dan diagonal (*HH*) komponen rinci.

Proses selanjutnya pada penyisipan *watermark* adalah pemecahan koefisien citra *watermark* yang akan menjadi logo yang ditanam dalam citra *host* yaitu dengan menerapkan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* pada citra logo yang akan menjadi *watermark*. Kemudian dilakukan proses pencarian nilai-nilai *singular* dengan *Singular Value Decomposition* untuk menemukan signifikansinya dalam pengolahan citra sebagai citra digital dapat berupa matriks entri skala negatif atau positif pada citra *host*. Pencarian nilai *U* dan *V* pada citra *host* adalah matriks ortogonal, dimana kolom *U* adalah vektor tunggal kiri citra *host* dan kolom *V* adalah vektor tunggal kanan dari matriks citra *host*. *S* adalah matriks citra *host* diagonal dari *singular value* dalam urutan menurun.

Kemudian dilakukan proses pencarian nilai-nilai *singular* dengan *Singular Value Decomposition* pada citra logo. Penentuan nilai *U_w* dan *V_w* pada citra logo adalah matriks ortogonal citra logo, dimana kolom *U_w* adalah vektor tunggal kiri citra logo dan kolom *V_w* adalah vektor tunggal kanan dari matriks citra logo. *S_w* adalah matriks citra logo diagonal dari *singular value* dalam urutan menurun.

Setelah didapat nilai vektor tunggal kiri citra logo (*U_w*) dan nilai vektor tunggal kanan citra logo (*V_w*). Ditentukan nilai parameter skala faktor yaitu dengan mengalikan nilai vektor tunggal kiri dan kanan, kemudian dijumlahkan dan dicari nilai maksimumnya, selanjutnya dibagi dengan hasil kali nilai vektor tunggal kiri dan kanan citra logo, kemudian dibagi sepuluh. Didapat nilai skala faktor yang akan digunakan selanjutnya pada penentuan koefisien matriks *S_l*.

Selanjutnya matriks *S_l* digunakan untuk penentuan koefisien baru untuk citra ter-*watermark* (*newhostHH*). Proses terakhir adalah dengan menerapkan *inverse Discrete Wavelet Transform* pada 4 *sub-band LL, HL, LH, dan sub-band* baru citra ter-*watermark* (*newhostHH*).

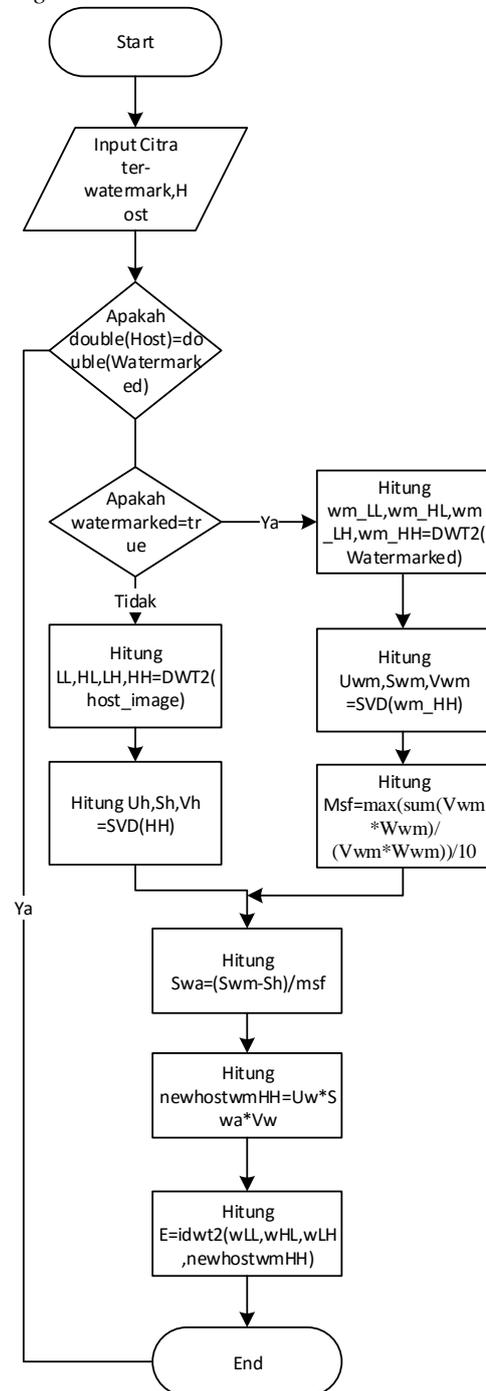
Setelah tahapan penyisipan *watermark* terdapat tahap ekstraksi *watermark*, tahap ini berfungsi untuk mengeluarkan *watermark* dari citra ter-*watermark*. Hasil dari proses ini adalah citra atau logo yang tersimpan atau tersembunyi dalam suatu citra. Metode yang digunakan untuk proses ekstraksi dengan metode *DWT-SVD*.

Terdapat tahapan proses ekstraksi citra ter-*watermark* dengan metode *DWT-SVD* adalah sebagai berikut:

1. Input *host*, *watermark* dan *watermarked*
2. Tentukan apakah citra ter-*watermark* terdapat *watermark* didalamnya dengan rumus *if double(host)=double(watermarked)* jika Ya langsung *end*, jika Tidak lanjut ke tahap tiga
3. Cari *LL, HL, LH, HH* dengan rumus *DWT2(host)*
4. Cari *w_m_{LL, w_m_{HL, w_m_{LH, w_m_{HH}}}}* dengan rumus *DWT2(watermarked)*
5. Cari *U_h, S_h, V_h* dengan rumus *SVD(HH)*
6. Cari *U_w, S_w, V_w* dengan rumus *SVD(w_m_{HH)}*
7. Cari *U_{w_m}, S_{w_m}, V_{w_m}* dengan rumus *SVD(w_m_{HH)}*
8. Cari nilai *msf* dengan rumus $\max(\sum(V_{wm} * W_{wm}) / (V_{wm} * W_{wm})) / 10$

9. Tentukan dan cari nilai koefisien *S_{wa}* dengan rumus $(S_{wm} - S_h) / msf$
10. Cari *newhostwmHH* dengan rumus $U_w * S_{wa} * V_w$
11. Kemudian cari citra *watermark* terekstrak dengan rumus $IDWT2(w_{LL}, w_{HL}, w_{LH}, newhostwmHH)$

Pada Gambar 2. Terlihat proses ekstraksi pada *watermarking* citra



Gambar 2. Metode Penelitian Ekstraksi yang Diusulkan

Selain proses penyisipan dan ekstraksi normal, untuk menguji ketahanan citra ter-*watermark* hasil metode *DWT-SVD*, dilakukan pekerjaan modifikasi beberapa serangan pada citra ter-*watermark* diantaranya: *JPEG 5%*, *Noise 5%*, *gaussian filter*, *sharpening*, *histogram equalization*, *scaling*, dan *gray-scale quantization satu bit*.

4 HASIL EKSPERIMEN

Eksperimen dilakukan menggunakan komputer personal Intel Core i5, 4GB RAM, 320GB HDD, sistem operasi Windows 7, dan Matlab R2014b.

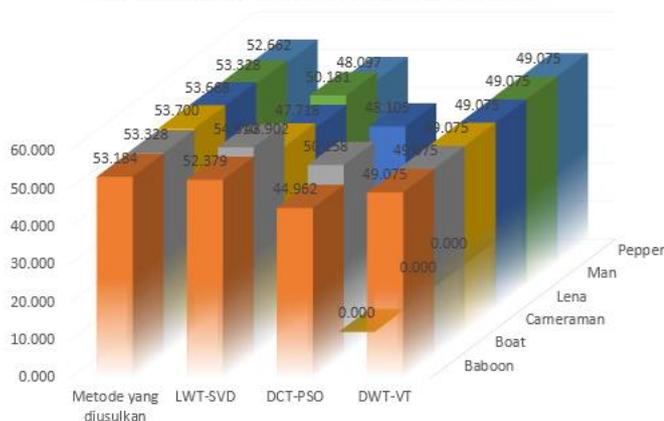
Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan. Tahap pertama setelah mendapatkan hasil citra ter-watermark metode DWT+SVD, kami membandingkan hasil eksperimen antara citra asli dengan citra ter-watermark. Kemudian kami melakukan pengukuran PSNR untuk menguji kemiripan antara citra asli dengan citra ter-watermark.

Tahap kedua, untuk mengidentifikasi bahwa citra ter-watermark hasil dari penerapan watermarking citra metode DWT+SVD dapat diekstrak, kami melakukan ekstraksi citra ter-watermark. Kemudian kami mengukurnya, pengukuran dilakukan antara watermark asli dengan watermark hasil dari ekstraksi dengan PSNR untuk menguji kemiripan antara citra logo asli dengan citra logo hasil ekstraksi watermark.

Tahap ketiga untuk mengetahui kekuatan (robust) model DWT+SVD pada watermarking citra, kami memberikan beberapa serangan pada citra yang tertanam watermark, serangan atau pemberian distorsi berupa: JPEG 5%, Noise 5%, Gaussian filter 3x3, Sharpening, Histogram Equalization, Scaling 512-256, Gray Quantitation 1bit, dan Cropping 1/8.

Hasil penerapan metode DWT+SVD pada penelitian ini pada citra yang sudah diberi watermark (citra ter-watermark) dibandingkan dengan metode lainnya. Data citra yang digunakan untuk penelitian dan pengujian adalah sama dengan yang digunakan beberapa peneliti lain dalam bidang yang sama yaitu watermarking. Pada penelitian ini membandingkan hasil dari metode yang diajukan DWT-SVD dengan metode LWT-SVD (Loukhaoukha, 2011), metode DCT-PSO (Ishtiaq et al., 2010), dan metode DWT-VT (Xianghong et al., 2004).

PERBANDINGAN PSNR CITRA TER-WATERMARK



Gambar 3. Grafik Perbandingan PSNR Citra Ter-watermark Dengan Metode Lain

Pada tahapan pertama, eksperimen pada masing-masing citra dilakukan dengan penyisipan logo watermark. Hasil perhitungan pengujian citra ter-watermark dengan PSNR dan NC pada masing-masing citra terujikan dan dirangkumkan dalam Tabel 3. Pada Tabel 3, nilai NC yang diperoleh pada masing-masing citra yang ujikan adalah 1 (satu), sedangkan nilai PSNR bervariasi, citra 'Baboon' sebesar 53,184 dB, 'Boat' sebesar 53,328 dB, 'Cameraman' sebesar 53,700 dB, 'Lena' sebesar 53,668 dB, 'Man' sebesar 53,328 dB dan 'Pepper' sebesar 52,662 dB seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Eksperimen Citra Ter-watermark Dengan PSNR dan NC

Citra host	Citra ter-watermark	PSNR	NC
		53,184	1
		53,328	1
		53,700	1
		53,668	1
		53,328	1
		52,662	1

Pada tahapan kedua kami mengekstrak citra ter-watermark yang telah tertanam citra logo pada proses penyisipan sebelumnya. Tampilan citra host, citra logo, citra ter-watermark dan logo hasil ekstraksi dapat dilihat pada Gambar 4.

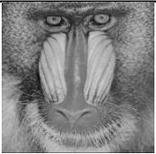
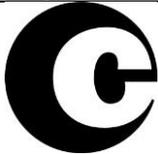
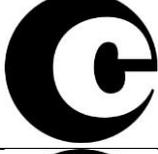


Gambar 4. Gambar Citra Host, Citra Logo, Citra Ter-watermark dan Logo Hasil Ekstraksi

Pada gambar 4 terlihat bahwa antara citra ter-watermark dan citra *host* nyaris tidak ada perbedaan. Begitu juga pada antara citra logo dan logo hasil ekstraksi sangat mirip sekali. Namun dalam *watermarking* kita dapat mengukur tingkat kemiripan antara citra asli dengan citra turunan dengan *Peak Signal To Noise Ratio (PSNR)*.

Hasil perhitungan *MSE*, *PSNR* dan *NC* pada antara citra logo dengan citra hasil ekstraksi *watermarking* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Eksperimen Ekstraksi Citra Ter-watermark DWT+SVD

Citra <i>host</i>	Citra Logo yang diekstrak	<i>MSE</i>	<i>PSNR</i>	<i>NC</i>
		2,466	44,2108	1
		5,535	40,699	1
		4,769	41,345	1
		5,732	40,5476	1
		4,900	41,2282	1
		4,623	41,4807	1

Berdasarkan Tabel 4. Logo yang diekstrak hampir mirip dengan aslinya, jika dilihat dengan kasat mata, maka dipastikan tidak ada perbedaannya. Akan tetapi dalam *watermarking* terdapat cara untuk mengukur kemiripan antara citra asli dengan citra turunannya yaitu dengan menentukan nilai *Peak Signal To Noise Ration (PSNR)*. Pada Tabel 4 nilai *PSNR* rata-rata diatas 40. Jika nilai *PSNR* jatuh dibawah 30dB menunjukkan kualitas citra yang cukup rendah (Cheddad et al., 2010), jika diatas atau sama dengan 40db maka menunjukkan kualitas citra yang tinggi.

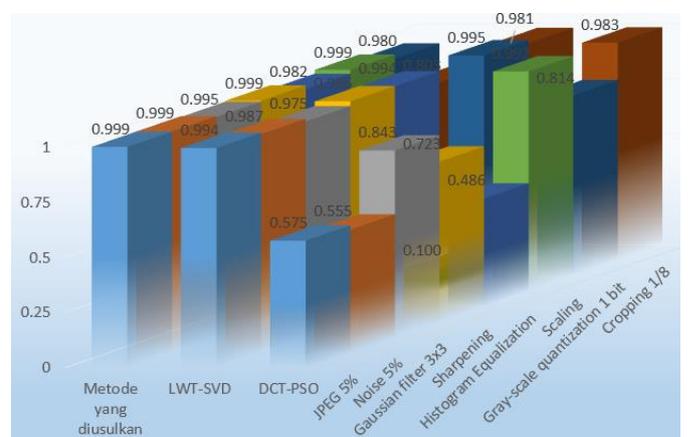
Pada tahapan ketiga, untuk menguji ketahanan citra yang sudah ditanam *watermark*, maka pada penelitian ini peneliti mencoba menerapkan beberapa serangan pada citra yang tertanam *watermark*, serangan atau pemberian distorsi berupa: *JPEG 5%*, *Noise 5%*, *Gaussian filter 3x3*, *Sharpening*, *Histogram Equalization*, *Scaling 512-256*, *Gray Quantitation 1bit*, dan *Cropping 1/8*. Pada Tabel 5. Terlihat hasil pemberian distorsi pada citra ter-watermark.

Tabel 5. *Normalized Cross-Correlation (NC)* Citra Ter-watermark Setelah Diberikan Distorsi

Citra <i>host</i>	a	b	c	d	e	f	g	h
	0,999	0,989	0,996	0,999	0,828	0,999	0,934	0,879
	0,999	0,999	0,995	0,999	0,982	0,999	0,980	0,803
	0,999	0,986	0,994	0,999	0,764	0,999	0,990	0,649
	0,999	0,989	0,996	0,999	0,793	0,999	0,910	0,880
	0,999	0,963	0,995	0,999	0,265	0,999	0,836	0,648
	0,999	0,985	0,996	0,999	0,705	0,999	0,935	0,965

Pada Tabel 5, kolom a adalah nilai *NC* setelah pemberian kompresi *JPEG 5%*, kolom b adalah nilai *NC* setelah pemberian *noise 5%*, kolom c adalah nilai *NC* setelah pemberian *gaussian filter 3x3*, kolom d adalah nilai *NC* setelah pemberian *sharpening*, kolom e adalah nilai *NC* setelah pemberian histogram, kolom f adalah nilai *NC* setelah pemberian *scaling*, kolom g adalah nilai *NC* setelah pemberian *gray scale quantization 1 bit* dan kolom h adalah nilai *NC* setelah pemberian *cropping 1/8*.

Terlihat pada Tabel 5, bahwa metode yang diusulkan mendapat nilai *NC* tertinggi yaitu sebesar 0,999 pada citra 'Baboon' yang diujikan dengan beberapa serangan distorsi. Terbukti bahwa metode yang diusulkan kuat terhadap kompresi *JPEG*, *sharpening* dan *scaling* dengan mendapat nilai *NC* sebesar 0,999. Selanjutnya diikuti oleh distorsi *noise 5%* dengan nilai *NC* sebesar 0,989.



Gambar 5. Grafik Perbandingan *NC* Citra Ter-watermark Distorsi Dengan Metode Lain

Pada Gambar 5, terlihat nilai *Normalized Cross-Correlation (NC)* dengan menerapkan metode yang diusulkan memperoleh nilai tertinggi pada beberapa perlakuan khusus

(distorsi). Pada perlakuan kompresi JPEG 5% dari semua citra yang diujikan menghasilkan nilai 0,999, dimana nilai tersebut diatas rata-rata dari hasil metode penelitian lainnya. Begitu juga dengan perlakuan *Noise* 5%, *Gaussian Filter* 3x3, dan *Sharpening* nilai *NC* cukup memuaskan, akan tetapi pada *Histogram filter*, *Grey-Scale Quantization*, dan *Cropping* selisih tipis dengan metode penelitian lainnya.

5 KESIMPULAN

Penerapan integrasi dari algoritma *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Singular Value Decomposition (SVD)* pada *watermarking* citra diusulkan untuk penentuan parameter *MSF* pada *watermarking* citra terbukti dapat meningkatkan kemiripan (*imperceptibility*) dan ketahanan (*robustness*) pada citra ter-*watermark*. Pada metode *SVD* nilai faktor skala dilakukan untuk mengidentifikasi letak posisi koefisien mana yang memiliki nilai posisi yang optimal, jika *SVD* diterapkan untuk mengoptimasi koefisien parameter pada *DWT*. Komparasi nilai *PSNR* dan *NC* dari beberapa metode *watermarking* citra dilakukan untuk membuktikan kehandalan metode yang telah diusulkan. Hasil eksperimen membuktikan bahwa metode yang diusulkan *DWT+SVD* memiliki nilai *PSNR* dan *NC* yang lebih baik dari pada metode *watermarking* citra lainnya.

REFERENSI

- Ali, M., & Ahn, C. W. (2014). An optimized *watermarking* technique based on self-adaptive de in *DWT-SVD* transform domain. *Signal Processing*, 94, 545–556.
- Ali, M., Ahn, C. W., & Pant, M. (2014). A robust image *watermarking* technique using *SVD* and differential evolution in *DCT* domain. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 125(1), 428–434.
- Aslantas, V. (2009). An optimal robust digital image *watermarking* based on *SVD* using differential evolution algorithm. *Optics Communications*, 282(5), 769–777.
- Briassouli, A., & Strintzis, M. G. (2004). Locally optimum nonlinearities for *DCT watermark* detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(12), 1604–1617.
- Chang, C.-C., Tsai, P., & Lin, C.-C. (2005). *SVD*-based digital image *watermarking* scheme. *Pattern Recognition Letters*, 26, 1577–1586.
- Cheddad, A., Condell, J., Curran, K., & Mc Kevitt, P. (2010). Digital image steganography: Survey and analysis of current methods. *Signal Processing*, 90(3), 727–752.
- Cox, I. J., Kilian, J., Leighton, F. T., & Shamoon, T. (1997). Secure spread spectrum *watermarking* for multimedia. *IEEE Transactions on Image Processing*, 6(12), 1673–1687.
- Dogan, S., Tuncer, T., Avci, E., & Gulden, A. (2011). A robust color image *watermarking* with Singular Value Decomposition method. *Advances in Engineering Software*, 42(6), 336–346.
- Findik, O., Babaoğlu, İ., & Ülker, E. (2010). A color image *watermarking* scheme based on hybrid classification method: Particle swarm optimization and k-nearest neighbor algorithm. *Optics Communications*, 283(24), 4916–4922.
- Hernández, J. R., Amado, M., & Pérez-González, F. (2000). *DCT*-domain *watermarking* techniques for still images: detector performance analysis and a new structure. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(1), 55–68.
- Huang, H., Chen, Y., & Abraham, A. (2010). Optimized *watermarking* using swarm-based bacterial foraging. *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 1(1), 51–58.
- Ishtiaq, M., Sikandar, B., Jaffar, M. A., & Khan, A. (2010). Adaptive *Watermark* Strength Selection using Particle Swarm Optimization. *ICIC Express Letters*, 4(5), 1–6.
- Jia, S. L. (2014). A novel blind color images *watermarking* based on *SVD*. *Optik*, 125, 2868–2874.
- Kumsawat, P., Attakitmongcol, K., & Srikaew, a. (2005). A new approach for optimization in image *watermarking* by using genetic algorithms. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 53(12), 4707–4719.
- Lai, C.-C. (2011a). A digital *watermarking* scheme based on singular value decomposition and tiny genetic algorithm. *Digital Signal Processing*, 21(4), 522–527.
- Lai, C.-C. (2011b). An improved *SVD*-based *watermarking* scheme using human visual characteristics. *Optics Communications*, 284(4), 938–944.
- Lai, C.-C., & Tsai, C.-C. (2010). Digital Image *Watermarking* Using Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 59(11), 3060–3063.
- Liu, F. L. F., & Liu, Y. L. Y. (2008). A *Watermarking* Algorithm for Digital Image Based on *DCT* and *SVD*. *2008 Congress on Image and Signal Processing*, 1, 380–383.
- Liu, J. C., & Chen, S. Y. (2001). Fast two-layer image *watermarking* without referring to the original image and *watermark*. *Image and Vision Computing*, 19, 1083–1097.
- Loukhaoukha, K. (2011). Optimal Image *Watermarking* Algorithm Based on *LWT-SVD* via Multi-objective Ant Colony Optimization, 2(4), 303–319.
- Loukhaoukha, K. (2013). Image *Watermarking* Algorithm Based on Multiobjective Ant Colony Optimization and Singular Value Decomposition, 2013.
- Mohammad, A. a., Alhaj, A., & Shaltaf, S. (2008). An improved *SVD*-based *watermarking* scheme for protecting rightful ownership. *Signal Processing*, 88, 2158–2180.
- Nikolaidis, N., & Nikolaidis, N. (1998). Robust image *watermarking* in the spatial domain. *Signal Processing*, 66, 385–403.
- Olkkonen, H. (2011). *Discrete Wavelete Transform :Algorithms And Application*. (H. Olkkonen, Ed.). Croatia: InTech.
- Patra, J. C., Phua, J. E., & Bornand, C. (2010). A novel *DCT* domain *CRT*-based *watermarking* scheme for image authentication surviving *JPEG* compression. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 20(6), 1597–1611.
- Qiao, L., & Nahrstedt, K. (1998). *Watermarking* Schemes and Protocols for Protecting Rightful Ownership and Customer's Rights. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 9(3), 194–210.
- Run, R. S., Horng, S. J., Lai, J. L., Kao, T. W., & Chen, R. J. (2012). An improved *SVD*-based *watermarking* technique for copyright protection. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 673–689.
- Shieh, C. S., Huang, H. C., Wang, F. H., & Pan, J. S. (2004). Genetic *watermarking* based on transform-domain techniques. *Pattern Recognition*, 37(3), 555–565.
- Tan, T., & Liu, R. (2008). An improved *SVD*-based *watermarking* scheme for protecting rightful ownership. *Signal Processing*, 88(9), 2158–2180.
- Van Fleet, P. J. (2011). *Discrete Wavelet Transformations: An Elementary Approach with Applications*. *Discrete Wavelet Transformations: An Elementary Approach with Applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- Wang, M.-S., & Chen, W.-C. (2007). Digital image copyright protection scheme based on visual cryptography and singular value decomposition. *Optical Engineering*, 46(4), 067006.
- Wang, M.-S., & Chen, W.-C. (2009). A hybrid *DWT-SVD* copyright protection scheme based on k-means clustering and visual cryptography. *Computer Standards & Interfaces*, 31(4), 757–762.
- Wang, Y.-R., Lin, W.-H., & Yang, L. (2011). An intelligent *watermarking* method based on particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8024–8029.
- Xianghong, T. X. T., Lu, L. L. L., Lianjie, Y. L. Y., & Yamei, N. Y. N. (2004). A digital *watermarking* scheme based on *DWT* and vector transform. *Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing, 2004.*, 635–638.

BIOGRAFI PENULIS



Jaya Chandra. Memperoleh gelar M.Kom dari Sekolah Tinggi Manajemen Ilmu Komputer Nusa Mandiri, Jakarta. Staff IT di salah satu Perusahaan IT Swasta, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pengembangan software. Minat penelitian pada saat ini pada bidang image processing, soft computing dan game programming.



Romi Satria Wahono. Memperoleh gelar B.Eng dan M.Eng pada bidang ilmu komputer di Saitama University, Japan, dan Ph.D pada bidang software engineering di Universiti Teknikal Malaysia Melaka. Menjadi pengajar dan peneliti di Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro. Merupakan pendiri dan CEO PT Brainmatics, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pengembangan software. Minat penelitian pada bidang software engineering dan machine learning. Profesional member dari asosiasi ilmiah ACM, PMI dan IEEE Computer Society.