

Robust Watermarking Untuk Perlindungan Data Pasien Pada Citra Medis Digital Dengan Metode Hybrid DCT-DWT dan Metode PSO

Zulfikar Fauzi¹, Adiwijaya², Didi Rosiyadi³

^{1,2}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

¹zulfikarfauzi@student.telkomuniversity.ac.id, ²adiwijaya@telkomuniversity.ac.id,

³didi.rosiyadi@lipi.go.id,

Abstrak

Terdapat dua hal yang perlu diperhatikan dalam citra medis yaitu otentifikasi kepemilikan dan keaslian citra digital. Sedangkan citra digital sendiri rentan terhadap manipulasi yang terjadi. Serta kepemilikan dari citra digital seorang pasien sendiri dapat tertukar secara sengaja maupun tidak sengaja. Permasalahan tersebut dapat merugikan bagi seorang pasien. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu melindungi kepemilikan citra medis dan perlindungan rekam medis yang tangguh. Sistem itu sendiri menggunakan teknik watermarking untuk melindungi citra digital dengan menyisipkan informasi didalamnya. Terdapat tiga metode didalam sistem ini yaitu metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* yang digabungkan dengan metode *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan dioptimasi dengan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk mencari nilai faktor skala yang optimal. Pengujian yang digunakan untuk mengukur performansi sistem yaitu *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* dan *Normalized-Cross Correlation (NCC)*. Dari ketiga metode tersebut, dihasilkan bahwa tidak ada perubahan nilai PSNR dan NCC setelah dioptimasi. Sehingga sistem memiliki kekokohan yang mampu melindungi keaslian citra digital meskipun mendapatkan serangan berupa *noise* dan *sharpening*.

Kata kunci : *watermarking, PSO, DWT, DCT, citra medis.*

Abstract

There are two things notice in the medical image of ownership authentication and digital image authenticity. While the digital image is vulnerable to manipulation that occurred. And the ownership of a patient's digital image can be intentionally or accidentally interchanged. It can be detrimental to a patient. Therefore, a system capable of protecting medical image ownership and protection of a strong medical record is essential. The system uses watermarking techniques to protect digital images by inserting information inside. There are three methods in this system, Discrete Wavelet Transform (DWT) method combined with Discrete Cosine Transform (DCT) method and optimized with Particle Swarm Optimization (PSO) method to find the optimal scale factor value. The tests used to measure the performance of the system are Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) and Normalized-Cross Correlation (NCC). Of the three methods, it was found that there was no change in PSNR and NCC values after optimization. So the system has robustness so as to protect the authenticity of digital images despite getting attacks in the form of noise and sharpening.

Keywords: *watermarking, PSO, DWT, DCT, medical image.*

1. Pendahuluan

Kemudahan pencarian informasi pada Internet membuat banyak pengguna dengan mudah mengambil data digital melalui banyak media. Data tersebut berupa teks, citra, video, dan audio. Tidak terkecuali citra medis yang juga menggunakan citra digital untuk pasien. Pada dunia medis untuk foto radiologi merupakan hal yang sangat penting. Perubahan sedikit saja pada foto hasil radiologi akan mempengaruhi diagnosa dokter. Hal ini akan menyebabkan kerugian pada pasien. Terdapat dua hal yang perlu diperhatikan dalam citra medis yaitu otentifikasi kepemilikan dan keaslian citra. Seringkali pasien mengabaikan tentang otentifikasi kepemilikan yang dapat menyebabkan kerugian bagi dirinya sendiri. Seiring dengan berkembangnya teknologi, seringkali manipulasi data dilakukan oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu memberikan otentifikasi kepemilikan citra digital dan perlindungan citra medis yang tangguh.

Watermarking merupakan salah satu teknik yang dapat memberikan otentifikasi kepemilikan pada citra digital. *Watermarking* dapat melindungi citra digital dengan cara menyisipkan informasi didalamnya. Sehingga

dalam penelitian ini menggunakan watermarking untuk mengatasi masalah tersebut. *Watermarking* memiliki banyak metode salah satunya teknik transform domain. *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* merupakan contoh dari teknik *watermarking transform domain*. Pada sistem yang dibangun menggabungkan dua metode tersebut dan melakukan optimasi untuk mencari penyisipan yang bagus. Optimasi dilakukan menggunakan *Particle Swarm Optimization (PSO)*. Dengan menggunakan tiga tersebut dapat mencari penyisipan yang optimal.

Dengan melakukan *watermarking* menggunakan metode-metode tersebut, mampu mendapatkan nilai yang optimal untuk faktor skala penyisipan watermark dan subband yang tepat. Penelitian yang dilakukan terdiri dari studi literatur, analisis dan perancangan sistem, implementasi sistem, analisa hasil implementasi, dan penulisan laporan.

Latar Belakang

Semakin berkembangnya internet dapat membantu mengelola catatan medis serta memungkinkan untuk berbagi citra medis ke seluruh dunia seperti *telemedicine*, *teleradiology*, *telediagnosis*, dan *teleconsultation* [16]. Data tersebut dapat berupa gambar *X-ray*, bentuk mamogram dan sebagainya yang dengan mudah dapat dimanipulasi karena pesatnya perkembangan jaman [4]. Adanya manipulasi citra medis bukan hanya mempengaruhi kualitas gambar namun juga hasil diagnosa. Maka dari itu diperlukan tanda kepemilikan pada citra digital untuk mengetahui keaslian citra dan tidak mudah dimanipulasi.

Adanya tanda kepemilikan pada data digital mempermudah mengetahui kepemilikan data pada sebuah citra medis. Banyak permasalahan yang terjadi dengan citra medis seperti citra yang tertukar hingga manipulasi terhadap citra medis. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut dengan proses *watermarking*. *Watermarking* adalah teknik penyisipan informasi watermark pada data digital baik berupa teks, citra, video, dan audio. *Watermarking* mampu melindungi media yang membawa pesan tersembunyi. Berdasarkan penerapan domain penyisipan data untuk penyisipan data dibagi menjadi dua yaitu spasial dan transform [14]. Pada penelitian ini menggunakan metode hybrid *Discrete Cosine Transform (DCT)*, *Discrete Wavelet Transform (DWT)*, dan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

Metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Discrete Cosine Transform (DCT)* merupakan teknik watermarking yang dilakukan dalam domain frekuensi. *Discrete Cosine Transform (DCT)* merupakan metode yang hampir sama dengan *Discrete Fourier Transform (DFT)* namun DCT hanya menggunakan komponen kosinus saja. Metode teknik watermarking pada domain frekuensi memiliki komputasi yang kompleks, namun memiliki robustness yang lebih bagus [24]. *Particle Swarm Optimization (PSO)* merupakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Metode GA dan PSO menunjukkan performansi yang bagus dalam masalah optimasi [15]. PSO dapat digunakan mencari solusi optimal dari *robustness* dan *imperceptibility*. Dengan menggunakan ketiga metode tersebut akan lebih memperkuat watermark terhadap citra medis.

Topik dan Batasannya

Kejahatan dalam dunia digital semakin banyak cara yang dilakukan oleh pelakunya. Citra digital yang seringkali menjadi sasaran dalam masalah tersebut. Sudah banyak bidang yang telah memanfaatkan teknologi digital, salah satu contohnya dalam bidang medis. Dan mengalami permasalahan dalam citra medis yang mengalami manipulasi. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah watermarking. Dalam penelitian ini, menerapkan teknik watermarking untuk memberikan ketahanan terhadap citra medis. Sistem yang dibangun menggunakan citra medis sebagai citra host dan rekam medis sebagai citra *watermark*. Citra medis yang digunakan mempunyai ukuran 1024x1024 dengan format *joint photographic experts assemble (.jpg)*. Dan citra host mempunyai ukuran 128x218 dengan format yang sama dengan citra medis. Metode yang digunakan dalam sistem ini adalah *hybrid Discrete Cosine Transform (DCT)-Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk ketahanan citra medis digital. Penyisipan watermark dilakukan menggunakan metode DWT dan DCT sedangkan PSO digunakan untuk mengoptimasi untuk mencari faktor skala yang paling optimal dan subband yang tepat.

Tujuan

Dalam penelitian ini mengimplementasikan teknik watermarking menggunakan metode *hybrid Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk ketahanan citra medis digital. Hal yang harus diperhatikan adalah ketahanan dan *invisibility* pada citra watermark maupun citra host. Untuk menguji hal tersebut, dilakukan pengujian untuk mengetahui performansi yang didapatkan. Dengan metode optimasi PSO bisa didapatkan nilai faktor skala yang optimal dan subband yang tepat dengan menggunakan perhitungan fungsi fitness.

Organisasi Tulisan

Pada bagian 2 akan dijelaskan penelitian sebelumnya serta landasan teori berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian pada bagian 3 dijelaskan perancangan sistem, penyisipan watermark, dan ekstraksi watermark. Pada bagian 4 akan dijelaskan mengenai pengujian performansi dengan menggunakan *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* dan *Normalized-Cross Correlation (NCC)*. Terakhir, pada bagian 5 akan dibuat kesimpulan yang menjawab

masalah pada penelitian ini.

2. Studi Terkait

Watermarking adalah teknik penyisipan informasi pada citra digital. Dalam penyisipan informasi, algoritma *watermarking* dibagi menjadi spasial dan frekuensi domain [16, 13, 12, 22, 8, 6]. Hal ini berkaitan dengan masalah otentifikasi kepemilikan pada citra medis. Dalam penelitian sebelumnya Rosiyadi et al. [20] melakukan *watermarking* dengan mengusulkan metode *hybrid watermarking* berdasarkan *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Singular Value Decomposition (SVD)* untuk efisiensi skema hak cipta pada dokumen *e-government*. Sama halnya dengan citra digital dalam dunia medis, *e-government* bertujuan untuk menyediakan layanan yang bisa diakses ke seluruh wilayah dengan biaya yang sedikit dan waktu yang singkat. Sehingga *e-government* harus memastikan otentifikasi dan hak cipta yang efisien. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah DCT yang dilakukan pada citra host dan menggunakan *zigzag space-filling curve (SFC)* dalam koefisien DCT. Metode *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Singular Value Decomposition (SVD)* digabungkan dengan metode optimasi *Genetic Algorithm (GA)*, sehingga menghasilkan ketahanan yang baik terhadap beberapa serangan.

Dalam penelitian Rosiyadi et al. [21] lain, juga membandingkan antara metode pada DCT dan SVD menggunakan *Genetic Algorithm (GA)* dengan metode *hybrid DCT* dan SVD tanpa menggunakan *Genetic Algorithm (GA)* dengan hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa ketahanan dari ekstraksi watermark dan kualitas visual dari citra hasil ekstraksi yang menggunakan metode GA lebih baik dibandingkan metode *hybrid DCT* dan SVD. Sehingga metode *watermarking* yang menggunakan metode optimasi dapat memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan metode optimasi.

Pada penelitian [23] yang menggunakan DCT dan SVD juga untuk perlindungan hak cipta. Metode DCT dilakukan dengan menggunakan cara *zig-zag* yang dibagi menjadi empat bagian yaitu B1, B2, B3, B4. Hasil yang didapatkan bahwa penyisipan terhadap frekuensi DCT memiliki keunggulan masing-masing, seperti pada frekuensi B1 tahan terhadap kelompok serangan namun frekuensi B4 tahan terhadap kelompok serangan yang lain.

Dalam penelitian Horng et al [11] dan [10] juga mengusulkan dengan metode yang sama yaitu DCT, SVD, dan GA. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa metode yang digunakan memiliki ketahanan yang tangguh terhadap serangan.

Namun metode optimasi bukan hanya *Genetic Algorithm (GA)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)* juga bisa digunakan untuk *watermarking*. Pada penelitian [17] mengusulkan penggunaan metode PSO untuk *Image Watermarking*, dengan mengoptimasi faktor skala yang paling optimal. Dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan skema *watermarking* yang diusulkan dapat mempertahankan kualitas citra.

Pengabungan teknik *hybrid* untuk *robust* dan *imperceptible* sudah dilakukan dalam penelitian [22]. Metode yang digunakan adalah penggabungan metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Discrete Cosine Transform (DCT)* dengan ditambahkan metode *Singular Value Decomposition (SVD)*. Didapatkan bahwa untuk faktor skala 0,05 memiliki kualitas yang bagus untuk *watermarked image* dan 0,5 memiliki kualitas rata-rata untuk *watermarked image*.

3. Sistem yang Dibangun

Perancangan sistem yang dilakukan pada jurnal ini memiliki dua proses penting yaitu penyisipan watermark dan ekstraksi watermark. Proses penyisipan watermark berfungsi untuk menyisipkan informasi watermark, sedangkan ekstraksi berfungsi untuk mengekstraksi informasi watermark. Data yang diproses pada sistem yaitu foto rontgen dan gambar rekam medis. Foto rontgen sebagai *Host Image* dan rekam medis sebagai *Watermark Image*. Secara umum perancangan sistem digambarkan pada Gambar 1

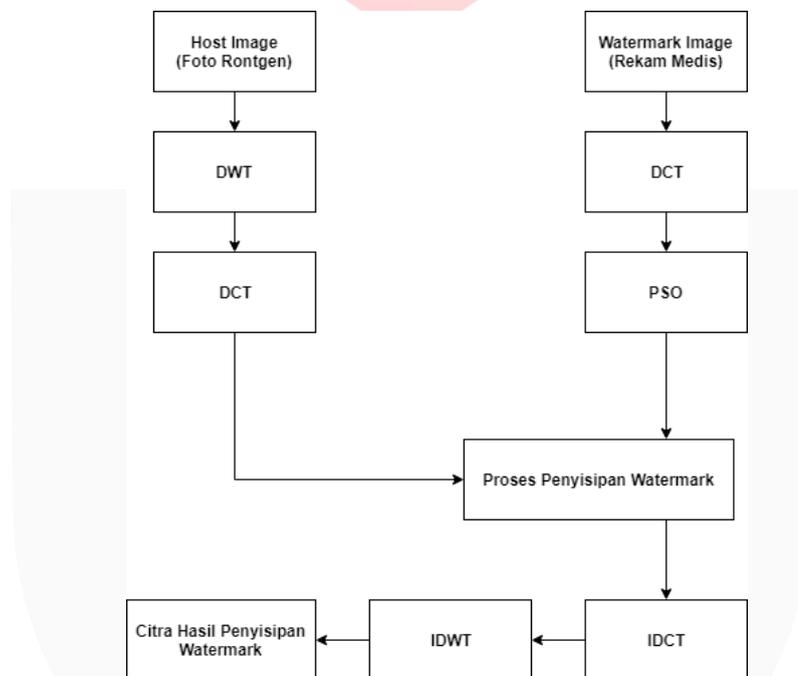


Gambar 1. Perancangan Sistem

Host image yang digunakan pada sistem memiliki ukuran 1024x1024, sedangkan *Watermark Image* memiliki ukuran 128x128. Langkah pertama yang dilakukan dalam sistem tersebut adalah memasukkan data berupa gambar yaitu citra host dan *watermark image*. Setelah itu dilakukan proses penyisipan watermark. Citra hasil proses penyisipan watermark akan diberi beberapa serangan untuk mengukur ketahanan pada citra. Selanjutnya dilakukan ekstraksi watermark untuk mendapatkan *watermark image* kembali.

3.1 Penyisipan Watermark

Pada awal proses sistem dilakukan penyisipan watermark terhadap *Host Image* atau citra medis. Citra medis ditransformasi menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dengan pemilihan subband yang telah dibagi menjadi empat bagian yaitu *Low Low Frequency (LL)*, *High Low Frequency (HL)*, *Low High Frequency (LH)*, dan *High High Frequency (HH)*. Metode DWT merepresentasikan perkiraan dan detail dari sinyal dalam dua rangkaian yang terpisah [7]. Metode DWT dilakukan hingga dua level terhadap citra medis. Subband yang terpilih dilakukan proses *Discrete Cosine Transform (DCT)* dengan metode *zigzag* yang membagi subband menjadi empat area yaitu B1, B2, B3, dan B4. Sedangkan untuk rekam medis dilakukan proses *Discrete Cosine Transform (DCT)*. Dan dioptimasi dengan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk mendapatkan nilai faktor skala yang paling optimal dan subband yang tepat. Proses penyisipan watermark dilakukan setelah proses tersebut selesai. Hasil penyisipan watermark dilakukan proses *Inverse Discrete Cosine Transform (IDCT)* dan *Inverse Discrete Wavelet Transform (IDWT)* untuk mengembalikan gambar seperti ukuran citra medis awal. Secara garis besar digambarkan pada diagram alur proses pada Gambar 2

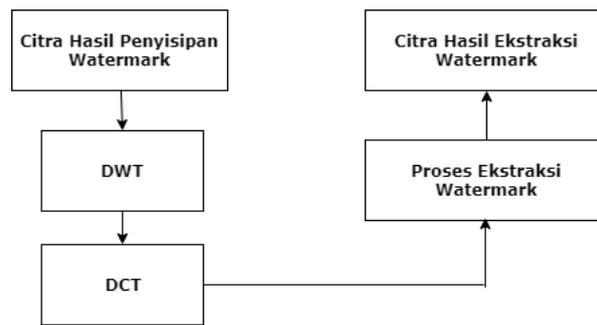


Gambar 2. Diagram Blok Penyisipan Watermark Image

3.2 Ekstraksi Watermark

Awal dari proses ini adalah memasukkan hasil citra proses penyisipan watermark pada sistem. Hasil citra medis proses penyisipan watermark diekstraksi dengan metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dengan membagi subband sampai dua level. Subband yang didapatkan dilakukan proses *Discrete Cosine Transform (DCT)* dengan menggunakan metode *zigzag*. Dan hasil tersebut akan dilakukan proses ekstraksi untuk mendapatkan rekam medis atau *watermark image*. Proses ekstraksi digambarkan dengan diagram alur proses pada Gambar 3.

Dalam Gambar 3 sudah tidak ada proses optimasi dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*. Metode PSO hanya digunakan untuk mengoptimasi parameter seperti faktor skala dan subband yang digunakan pada proses penyisipan watermark.



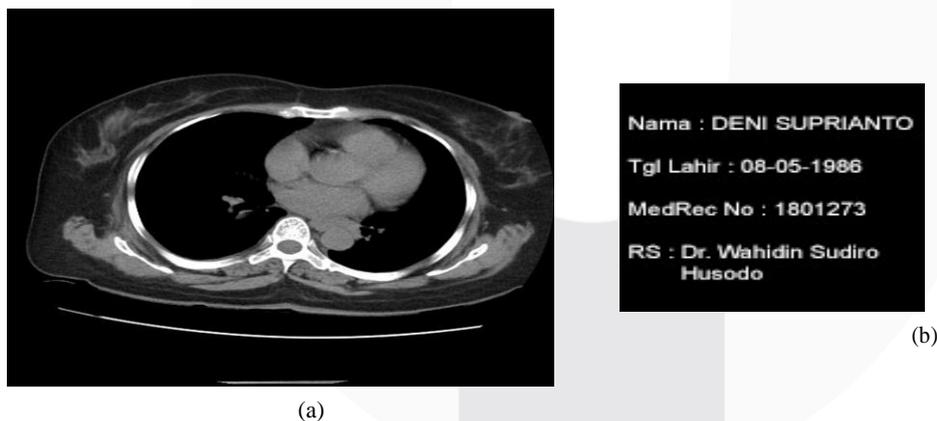
Gambar 3. Diagram Blok Ekstraksi Watermark Image

3.3 Pengujian Sistem Watermarking

Pengujian dilakukan dengan gangguan-gangguan serangan untuk mengetahui kualitas dari citra watermark. Gangguan-gangguan serangan terhadap citra digital dibagi menjadi dua macam, yaitu *standard attack* dan *malicious attack*. *Standard attack* merupakan serangan yang tidak disengaja kepada citra digital, sedangkan *malicious attack* merupakan serangan yang disengaja untuk memanipulasi citra. Pengujian yang diberikan disini berupa *standard attack* seperti *noise* dan *sharpening*. Serangan *noise* yang digunakan ada dua macam yaitu *noise gaussian* dan *noise salt and pepper*. Dan diukur dengan perhitungan *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* dan *Normalized-Cross Correlation (NCC)*.

4. Evaluasi

Pengujian dilakukan dengan mengukur tingkat *imperceptibility* dan *robustness* pada suatu sistem. Hasil citra pada proses penyisipan diukur dengan *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* dengan membandingkan *Host Image* dengan *Watermarked Image* atau hasil penyisipan untuk mendapatkan nilai *imperceptibility*. Sedangkan nilai *robustness* pada citra diukur menggunakan *Normalized-Cross Correlation (NCC)* dengan membandingkan *Watermark Image* dengan citra hasil ekstraksi. Pada penelitian ini, citra medis yang digunakan berasal dari RSUD Dr. Wahidin Sudiro Husodo, kota Mojokerto. Sedangkan untuk rekam merupakan citra dummy yang berisi 4 *primary key* dalam rekam medis. Berikut merupakan salah satu citra medis dan rekam medis yang digunakan dalam penelitian :



Gambar 4. (a) Citra Medis dan (b) Rekam Medis

Ada tiga skenario yang dilakukan pada sistem yang dibangun. Skenario pertama, penyisipan watermark dilakukan dengan menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* saja. Skenario kedua dilakukan dengan menggabungkan metode *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)*. Dan Skenario terakhir menggunakan metode *hybrid Discrete Cosine Transform (DCT)-Discrete Wavelet Transform (DWT)* untuk penyisipan watermark dan *Particle Swarm Optimization (PSO)* untuk mencari faktor skala yang paling optimal dan subband yang tepat. Untuk menguji ketahanan sistem tersebut dilakukan serangan berupa *Noise Gaussian*, *Salt Pepper*, dan *Sharpening*.

4.1 Hasil Pengujian

Tabel 1. Imperceptibility Citra Host saat Skenario DWT, DWT-DCT, DWT-DCT-PSO

Citra	DWT	DWT-DCT	DWT-DCT-PSO
	PSNR	PSNR	PSNR
Citra 1	26,05	27,79	38,38
Citra 2	26,10	27,67	38,43
Citra 3	26,12	28,07	38,53
Citra 4	26,31	28,25	38,91
Citra 5	26,36	28,17	39,00

Tabel 2. Tabel Pengujian PSNR dan NCC terhadap Gaussian Noise

CITRA	GAUSSIAN NOISE							
	0,0005		0,001		0,005		0,01	
	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC
Citra 1	29,82	0,90	28,46	0,89	23,69	0,82	21,18	0,76
Citra 2	29,67	0,91	28,32	0,89	23,54	0,83	21,03	0,78
Citra 3	29,66	0,91	28,32	0,89	23,21	0,81	20,97	0,77
Citra 4	29,76	0,90	28,41	0,89	23,56	0,82	20,50	0,75
Citra 5	29,77	0,90	28,40	0,89	23,56	0,82	21,02	0,77

Tabel 3. Tabel Pengujian PSNR dan NCC terhadap Salt & Pepper

CITRA	SALT & PEPPER NOISE							
	0,001		0,005		0,01		0,05	
	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC
Citra 1	29,58	0,92	25,51	0,91	23,03	0,87	16,54	0,69
Citra 2	30,12	0,93	25,46	0,91	23,09	0,88	16,66	0,71
Citra 3	30,99	0,92	25,29	0,89	23,22	0,88	16,75	0,72
Citra 4	30,90	0,92	25,77	0,90	23,19	0,88	16,70	0,70
Citra 5	30,22	0,92	25,70	0,91	23,17	0,87	16,70	0,70

Tabel 4. Tabel Pengujian PSNR dan NCC terhadap Sharpening

CITRA	SHARPENING							
	0,5		1		2		3	
	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC
Citra 1	35,92	0,89	32,87	0,90	29,61	0,89	26,40	0,89
Citra 2	34,76	0,90	32,92	0,90	29,55	0,89	26,66	0,89
Citra 3	36,09	0,89	33,75	0,89	29,56	0,89	26,74	0,89
Citra 4	35,25	0,90	33,46	0,90	30,12	0,89	27,40	0,88
Citra 5	36,30	0,89	33,13	0,90	29,79	0,89	27,43	0,88

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Pada tabel 1 merupakan hasil dari pengujian skenario pertama, kedua dan ketiga. Untuk pengujian awal, hanya mengukur citra host karena belum ada serangan. Dapat dilihat bahwa nilai PSNR pada setiap skenario memiliki peningkatan. Dengan adanya penggabungan metode antara DWT dan DCT hasil PSNR memiliki peningkatan sekitar 7%. Sedangkan ketika melakukan optimasi pada metode *hybrid* DWT dan DCT dengan menggunakan metode PSO memiliki hasil PSNR dengan peningkatan sekitar 38%. Jadi pada skenario yang diusulkan berhasil meningkatkan hasil PSNR pada skenario sebelumnya.

Pada tabel 2 merupakan hasil dari skenario ketiga yang telah diberikan serangan berupa *Noise Gaussian*. Serangan yang diberikan sebesar 0,0005, 0,001, 0,005, dan 0,01. Didapatkan hasil bahwa pada serangan sebesar

0,0005 sudah mempunyai nilai PSNR yang dibawah 30 dB, nilai tersebut merupakan nilai yang buruk karena kualitas yang bagus secara visual jika memiliki nilai PSNR lebih dari 30 dB. Jadi skenario yang diusulkan belum bisa mempertahankan nilai PSNR pada serangan *Noise Gaussian* di setiap nilai serangan yang dilakukan. Namun untuk nilai NCC masih bertahan hingga serangan sebesar 0,005 dan kurang baik pada serangan sebesar 0,01.

Pada tabel 3 merupakan hasil dari skenario ketiga yang telah diberikan serangan berupa *Salt Pepper*. Serangan yang diberikan sebesar 0,001, 0,005, 0,01, dan 0,05. Didapatkan hasil bahwa pada serangan sebesar 0,001 hanya satu citra PSNR yang memiliki nilai dibawah 30 dB, namun selain citra tersebut memiliki nilai PSNR diatas 30 dB. Skenario yang diusulkan dapat mempertahankan nilai PSNR hingga serangan sebesar 0,001. Sedangkan untuk nilai NCC dapat dipertahankan hingga serangan sebesar 0,01 dan kurang baik pada serangan sebesar 0,05.

Dan tabel 4 merupakan hasil dari skenario ketiga yang telah diberikan serangan berupa *Sharpening*. Serangan yang diberikan sebesar 0,5, 1, 2, dan 3. Didapatkan hasil bahwa pada serangan sebesar 2 masih dapat mempertahankan nilai PSNR dengan memiliki nilai diatas 30 dB. Sedangkan untuk nilai NCC dapat bertahan hingga serangan sebesar 3. Jadi skenario yang diusulkan dapat mempertahankan nilai NCC pada serangan *Sharpening* dan nilai PSNR dapat bertahan hingga serangan sebesar 2.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini bukan hanya nilai *robustness*, namun nilai *imperceptibility* juga diperhatikan. Dua hal tersebut menjadi dasar skema *watermarking* yang baik dan tidak. Nilai dari *imperceptibility* dan *robustness* memiliki sifat yang bertolak belakang, jika nilai dari *imperceptibility* tinggi maka nilai *robustness* rendah begitu sebaliknya. Hal ini juga dipengaruhi oleh faktor skala dan subband yang digunakan dalam teknik *watermarking*. Pada hasil penelitian, sistem yang dibangun mendapatkan nilai *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* dan *Normalized-Cross Correlation (NCC)* yang lebih optimal. Nilai PSNR yang didapatkan memiliki peningkatan sekitar 38% dan NCC yang mampu bertahan pada serangan. Parameter yang dioptimasi yaitu faktor skala dan subband yang digunakan. Setelah mendapatkan hasil dari sistem yang dibangun, dapat dilihat bahwa penggabungan metode *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* dapat meningkatkan nilai dari PSNR dan NCC.

Skema *watermarking* yang dilakukan masih membutuhkan citra host asli untuk proses ekstraksi yang sering disebut *non-blind watermarking*. Untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan menggunakan skema *watermarking* yang berjenis *blind watermarking* atau *semi-blind watermarking*. Kedepannya juga bisa dilakukan penelitian dengan menggunakan gabungan metode penyisipan dan metode optimasi yang lain.

Daftar Pustaka

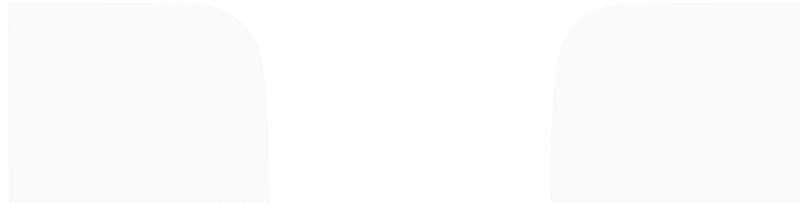
- [1]Adiwijaya. *Aplikasi Matriks dan Ruang Vektor*. Graha Ilmu, 2014.
- [2]Adiwijaya. *Matematika Diskrit dan Aplikasinya*. Alfabeta, 2016.
- [3]Adiwijaya, M. Maharani, B. K. Dewi, F. A. Yulianto, and B. Purnama. Digital image compression using graph coloring quantization based on wavelet-svd. *Journal of Physics: Conference Series*, 423(1):012019, 2013.
- [4]Adiwijaya, T. A. B. Wirayuda, S. D. Winanjuar, and U. Muslimah. *The Multiple Watermarking on Digital Medical Image for Mobility and Authenticity*, pages 457–462. Springer International Publishing, Cham, 2014.
- [5]W. Astuti and Adiwijaya. Graph coloring based on evolutionary algorithms to support data hiding scheme on medical images. *Procedia Computer Science*, 74:173 – 177, 2015. “The 2nd International Conference of Graph Theory and Information Security”.
- [6]P. Bedi, R. Bansal, and P. Sehgal. Multimodal biometric authentication using pso based watermarking. *Procedia Technology*, 4:612 – 618, 2012.
- [7]E. H. Elshazly, O. S. Faragallah, A. M. Abbas, M. A. Ashour, E.-S. M. El-Rabaie, H. Kazemian, S. A. Al-shebeili, F. E. Abd El-Samie, and H. S. El-sayed. Robust and secure fractional wavelet image watermarking. *Signal, Image and Video Processing*, 9(1):89–98, 2015.
- [8]P. Fakhari, E. Vahedi, and C. Lucas. Protecting patient privacy from unauthorized release of medical images using a bio-inspired wavelet-based watermarking approach. *Digital Signal Processing*, 21(3):433 – 446, 2011.

- [9]K. Handito, Z. Fauzi, F. A. Ma'ruf, T. Widyaningrum, and K. M. Lhaksana. The comparison between svd-dct and svd-dwt digital. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017.
- [10]S.-J. Horng, D. Rosiyadi, P. Fan, X. Wang, and M. K. Khan. An adaptive watermarking scheme for e-government document images. *Multimedia tools and applications*, 72(3):3085–3103, 2014.
- [11]S.-J. Horng, D. Rosiyadi, T. Li, T. Takao, M. Guo, and M. K. Khan. A blind image copyright protection scheme for e-government. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 24(7):1099 – 1105, 2013.
- [12]L.-Y. Hsu and H.-T. Hu. Robust blind image watermarking using crisscross inter-block prediction in the {DCT} domain. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, pages –, 2017.
- [13]H.-T. Hu, J.-R. Chang, and L.-Y. Hsu. Robust blind image watermarking by modulating the mean of partially sign-altered {DCT} coefficients guided by human visual perception. *{AEU} International Journal of Electronics and Communications*, 70(10):1374 – 1381, 2016.
- [14]M. Jamali, S. Samavi, N. Karimi, S. M. R. Soroushmehr, K. Ward, and K. Najarian. Robust watermarking in non-roi of medical images based on dct-dwt. In *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pages 1200–1203, Aug 2016.
- [15]Z.-J. Lee, S.-W. Lin, S.-F. Su, and C.-Y. Lin. A hybrid watermarking technique applied to digital images. *Applied Soft Computing*, 8(1):798 – 808, 2008.
- [16]S. M. Mousavi, A. Naghsh, and S. A. R. Abu-Bakar. Watermarking techniques used in medical images: a survey. *Journal of Digital Imaging*, 27(6):714–729, 2014.
- [17]S. Naffouti, H. Homri, A. Sakly, and A. Mtibaa. An additive image watermarking method based on particle swarm optimization. In *Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), 2013 14th International Conference on*, pages 501–508. IEEE, 2013.
- [18]S. Nurcahyo, F. Nhita, et al. Rainfall prediction in kemayoran jakarta using hybrid genetic algorithm (ga) and partially connected feedforward neural network (pcfn). In *Information and Communication Technology (ICoICT), 2014 2nd International Conference on*, pages 166–171. IEEE, 2014.
- [19]A. A. Rohmawati and Adiwijaya. A daubechies wavelet transformation to optimize modeling calibration of active compound on drug plants. In *2017 5th International Conference on Information and Communication Technology (ICoIC7)*, pages 1–4, May 2017.
- [20]D. Rosiyadi, S. J. Horng, P. Fan, X. Wang, M. K. Khan, and Y. Pan. Copyright protection for e-government document images. *IEEE MultiMedia*, 19(3):62–73, July 2012.
- [21]D. Rosiyadi, S.-J. Horng, N. Suryana, and N. Masthurah. A comparison between the hybrid using genetic algorithm and the pure hybrid watermarking scheme. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 4(3):329, 2012.
- [22]A. K. Singh, M. Dave, and A. Mohan. Hybrid technique for robust and imperceptible multiple watermarking using medical images. *Multimedia Tools and Applications*, 75(14):8381–8401, 2016.
- [23]A. Sverdllov, S. Dexter, and A. M. Eskicioglu. Robust dct-svd domain image watermarking for copyright protection: embedding data in all frequencies. In *Signal Processing Conference, 2005 13th European*, pages 1–4. IEEE, 2005.
- [24]Y.-R. Wang, W.-H. Lin, and L. Yang. An intelligent watermarking method based on particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 38(7):8024 – 8029, 2011.

Lampiran

Tabel 5. Imperceptibility Citra Host saat Skenario DWT, DWT-DCT, DWT-DCT-PSO

Citra	DWT	DWT-DCT	DWT-DCT-PSO
	PSNR	PSNR	PSNR
Citra 1	26,05	27,79	38,38
Citra 2	26,10	27,67	38,43
Citra 3	26,12	28,07	38,53
Citra 4	26,31	28,25	38,91
Citra 5	26,36	28,17	39,00
Citra 6	26,16	27,93	38,49
Citra 7	26,11	28,19	39,17
Citra 8	26,10	28,08	39,14
Citra 9	26,08	27,91	38,04
Citra 10	26,08	27,67	36,11
Citra 11	26,14	27,54	38,72
Citra 12	26,29	27,71	39,10
Citra 13	26,35	27,96	38,23
Citra 14	26,12	27,84	36,28
Citra 15	26,18	27,93	39,50
Rata-rata	26,17	27,91	38,40

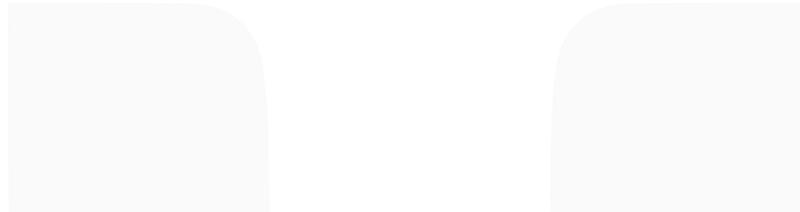


Tabel 6. Tabel Pengujian PSNR dan NCC terhadap Gaussian Noise

CITRA	GAUSSIAN NOISE							
	0,0005		0,001		0,005		0,01	
	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC
Citra 1	29,82	0,90	28,46	0,89	23,69	0,82	21,18	0,76
Citra 2	29,67	0,91	28,32	0,89	23,54	0,83	21,03	0,78
Citra 3	29,66	0,91	28,32	0,89	23,21	0,81	20,97	0,77
Citra 4	29,76	0,90	28,41	0,89	23,56	0,82	20,50	0,75
Citra 5	29,77	0,90	28,40	0,89	23,56	0,82	21,02	0,77
Citra 6	29,74	0,90	28,38	0,89	23,54	0,82	21,02	0,77
Citra 7	29,76	0,90	28,38	0,89	23,56	0,82	21,05	0,77
Citra 8	29,77	0,91	28,38	0,89	23,59	0,82	21,08	0,77
Citra 9	29,67	0,91	28,29	0,89	23,52	0,83	21,02	0,78
Citra 10	29,63	0,91	28,30	0,89	23,54	0,83	21,06	0,79
Citra 11	29,57	0,91	28,21	0,90	23,50	0,84	21,04	0,79
Citra 12	29,63	0,91	28,31	0,90	23,54	0,83	20,92	0,77
Citra 13	29,69	0,90	28,34	0,88	22,60	0,79	21,00	0,77
Citra 14	29,69	0,91	27,32	0,87	23,54	0,83	21,05	0,76
Citra 15	29,67	0,91	28,30	0,89	23,55	0,83	21,03	0,78
Rata – rata	29,70	0,91	28,27	0,89	23,47	0,82	21,00	0,77

Tabel 7. Tabel Pengujian PSNR dan NCC terhadap Salt & Pepper

CITRA	SALT & PEPPER NOISE							
	0,001		0,005		0,01		0,05	
	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC
Citra 1	29,58	0,92	25,51	0,91	23,03	0,87	16,54	0,69
Citra 2	30,12	0,93	25,46	0,91	23,09	0,88	16,66	0,71
Citra 3	30,99	0,92	25,29	0,89	23,22	0,88	16,75	0,72
Citra 4	30,90	0,92	25,77	0,90	23,19	0,88	16,70	0,70
Citra 5	30,22	0,92	25,70	0,91	23,17	0,87	16,70	0,70
Citra 6	30,75	0,93	25,60	0,91	23,23	0,88	16,71	0,70
Citra 7	30,59	0,93	25,51	0,91	23,11	0,88	16,67	0,71
Citra 8	30,53	0,93	25,52	0,90	23,08	0,88	16,65	0,70
Citra 9	30,70	0,93	25,23	0,89	23,04	0,88	16,69	0,72
Citra 10	30,42	0,93	25,62	0,91	23,12	0,88	16,59	0,71
Citra 11	30,80	0,93	25,61	0,91	23,08	0,88	16,62	0,72
Citra 12	31,02	0,93	25,48	0,91	23,10	0,88	16,65	0,71
Citra 13	30,91	0,92	25,59	0,91	23,17	0,88	16,67	0,71
Citra 14	30,93	0,92	25,55	0,91	23,17	0,88	16,64	0,71
Citra 15	30,71	0,93	25,42	0,91	23,13	0,89	16,63	0,71
Rata – rata	30,61	0,93	25,53	0,91	23,13	0,88	16,66	0,71



Tabel 8. Tabel Pengujian PSNR dan NCC terhadap Sharpening

CITRA	SHARPENING							
	0,5		1		2		3	
	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC	PSNR	NCC
Citra 1	35,92	0,89	32,87	0,90	29,61	0,89	26,40	0,89
Citra 2	34,76	0,90	32,92	0,90	29,55	0,89	26,66	0,89
Citra 3	36,09	0,89	33,75	0,89	29,56	0,89	26,74	0,89
Citra 4	35,25	0,90	33,46	0,90	30,12	0,89	27,40	0,88
Citra 5	36,30	0,89	33,13	0,90	29,79	0,89	27,43	0,88
Citra 6	35,01	0,90	32,47	0,90	29,62	0,89	26,94	0,88
Citra 7	35,88	0,89	33,65	0,90	30,31	0,89	27,12	0,89
Citra 8	34,60	0,90	33,60	0,90	30,25	0,88	27,77	0,88
Citra 9	36,37	0,90	32,41	0,90	29,18	0,89	27,44	0,89
Citra 10	35,89	0,90	32,68	0,90	28,91	0,89	26,20	0,89
Citra 11	36,23	0,90	31,56	0,91	29,26	0,90	26,10	0,90
Citra 12	36,63	0,90	33,16	0,90	28,82	0,90	27,15	0,89
Citra 13	34,93	0,91	32,71	0,90	28,54	0,89	27,00	0,88
Citra 14	36,12	0,90	32,79	0,90	29,45	0,89	25,93	0,89
Citra 15	37,02	0,90	33,63	0,90	29,56	0,89	27,22	0,89
Rata – rata	35,80	0,90	32,99	0,90	29,50	0,89	26,90	0,89