

ANALISIS PERFORMA METODE IHWT (*INTEGER HAAR WAVELET TRANSFORM*) DAN MODULUS FUNCTION DENGAN METODE IHWT (*INTEGER HAAR WAVELET TRANSFORM*) DAN PVD (*PIXEL VALUE DIFFERENCING*) PADA KUALITAS CITRA DIGITAL

Dita Angelia Suwiryo¹⁾, Pulung Nurtantio Andono²⁾

^{1,2} Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro
email: angeliadita20@gmail.com, pulung@research.dinus.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi yang semakin maju dalam beberapa dekade terakhir menyebabkan meningkatnya konsumsi informasi digital. Hal tersebut membuat perhatian serius terhadap isu-isu keamanan seperti keamanan konten, keaslian, dan hak cipta. Aplikasi berbasis internet yang semakin besar mengharuskan komunikasi dibuat rahasia. Dalam penelitian ini dilakukan analisa perbandingan teknik steganografi IHWT (*Integer Wavelet Transform*) dan modulus function dengan IHWT (*Integer Wavelet Transform*) dan PVD (*Pixel Value Differencing*) pada citra digital. Pemilihan analisa metode tersebut didasarkan pada alasan bahwa IHWT mampu menghasilkan koefisien bernilai integer sehingga mampu mengatasi masalah nilai float pada DWT (*Discret Wavelet Transform*). Sedangkan modulus function mampu mengurangi perubahan nilai koefisien (*coefficient adjustment*) sehingga mampu meningkatkan kualitas citra. Berdasarkan hasil eksperimen hasil rata-rata evaluasi yang didapat yaitu IHWT + PVD dengan threshold 3 menggunakan PSNR menghasilkan nilai sebesar 46.85939 sedangkan dengan SSIM menghasilkan nilai sebesar 0.987313. Pada IHWT + Modulus function dengan threshold 3 menggunakan PSNR menghasilkan nilai sebesar 49.5126 sedangkan dengan menggunakan SSIM menghasilkan nilai sebesar 0.991525. Perubahan nilai yang dialami oleh file citra asli dengan file citra stego hanya berkisar diantara (-1) sampai dengan 1 selisihnya. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu penelitian yang terkait diharapkan hasil eksperimennya lebih kompleks dengan menggunakan teknik embedding yang lebih baik dari modulus function.

Kata Kunci: *Steganografi, Integer Haar Wavelet Transform, Modulus Function, Pixel Value Differencing*

Abstract

The development of increasingly advanced technology in recent decades led to increased consumption of digital information. It is making serious attention to security issues such as the security of content, originality, and copyright. Internet-based applications that require greater communication made secret. In this study conducted a comparative analysis of steganography techniques IHWT (*Integer Wavelet Transform*) and modulus function with IHWT (*Integer Wavelet Transform*) and PVD (*Pixel Value differencing*) in the digital image. Selection of the method of analysis based on the grounds that IHWT able to produce integer valued coefficients so as to overcome the problem of float values in DWT (*Discrete Wavelet Transform*). While the modulus function is able to reduce the change of the coefficient value (*coefficient adjustment*) so as to improve image quality. Based on the experimental results of the evaluation of the average yield obtained is IHWT + 3 using the PVD threshold generates a value of 46.85939 PSNR while the SSIM generate a value of 0.987313. In IHWT + Modulus function with 3 threshold using PSNR generate a value of 49.5126 while using SSIM generate a value of 0.991525. Changes in value experienced by the original image file to stego image file only ranged between (-1) up to 1 difference. Suggestions for further research is research related to the expected result is more complex experiments using the technique of embedding better than the modulus function.

Keywords: *Steganography, Integer Haar Wavelet Transform, Modulus Function, Pixel Value Differencing*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin maju dalam beberapa dekade terakhir menyebabkan meningkatnya konsumsi informasi digital. Hal tersebut membuat perhatian serius terhadap isu-isu keamanan seperti keamanan konten, keaslian, dan hak cipta. Aplikasi berbasis internet yang semakin besar mengharuskan komunikasi dibuat rahasia [1]. Untuk mencapai tujuan tersebut terdapat dua teknik yang sering digunakan yaitu kriptografi dan steganografi. Steganografi berbeda dengan kriptografi dalam hal pengamanan data. Jika ditinjau dari definisinya kriptografi merupakan teknik berubah dan mengacak struktur data atau informasi yang merubah wujud aslinya. Sedangkan steganografi merupakan teknik menyembunyikan data atau informasi (teks dan gambar) ke dalam suatu objek seperti gambar, video atau audio [2]. Kriptografi dapat disebut juga *the power of security* karena fokus pada tingkat keamanan suatu data atau informasi sedangkan steganografi dapat disebut juga *the power of secret* yang berfokus pada kerahasiaan data atau informasi. Steganografi mempunyai kelebihan dari segi kerahasiaan data yang terjaga dan hasil prosesnya tidak mencurigakan. Hal ini lebih baik daripada kriptografi yang hasil prosesnya mencurigakan. Terdapat beberapa metode dalam steganografi antara lain LSB (*Least Significant Bit*), Metode LSB merupakan metode steganografi konvensional yang efisien dan terbukti jauh lebih sulit untuk dideteksi. LSB meningkatkan dan menurunkan nilai pixel dengan kemungkinan yang sama ketika bit terkecil dalam nilai pixel tidak sama dengan bit pesan[3]. LSB merupakan metode yang tidak aman dan rawan dalam penerapannya untuk itu metode ini sudah jarang digunakan. Untuk menanggulangi masalah dalam LSB ditemukan metode DCT (*Discrete Cosine Transform*) yang merupakan teknik terkenal dalam steganografi citra digital. Penggunaan

DCT pada blok kecil dapat menimbulkan efek seperti pemblokiran (*blocking*) dan artefak atau cacat yang tidak diinginkan pada gambar keseluruhan. Kelemahan dari DCT dapat dihilangkan dengan menggunakan DWT (*Discrete Wavelet Transform*) dimana lebih kompatibel dengan HVS (*Human Visual System*) atau yang sering disebut sistem visual manusia. Namun *floating point* pada DWT dapat menyebabkan kehilangan beberapa informasi. DWT dalam *image processing* terdiri dari empat dimensi yaitu LL (merekpresentasikan nilai rata-rata dari frekuensi sinyal rendah dalam citra), HL (merekpresentasikan fitur horizontal masing-masing citra), LH (merekpresentasikan fitur vertikal masing-masing citra), dan HH (merekpresentasikan fitur diagonal masing-masing citra). Pada dasarnya dua dimensi dalam DWT dapat dilakukan dengan menerapkan satu dimensi *wavelet* secara horizontal diikuti secara vertikal[4]. Disisi lain IWT dapat disebut juga generasi kedua dari *wavelet* yang lebih fleksibel dan dapat didefinisikan berbasis jaringan yang tidak teratur atau sebuah interval [5]. Koefisien dalam IWT diwakili sebagai jumlah presisi yang terbatas yang memetakan integer ke dalam integer. Hal tersebut bertujuan menghindari masalah pada nilai *float* dalam DWT. Dalam metode IWT jenis yang populer adalah IHWT (*Integer Haar Wavelet Transform*) yang dibangun berdasarkan HDWT (*Haar Discrete Wavelet Transform*) melalui skema pengangkatan. Hal tersebut mentransformasikan nilai *pixel integer* dalam citra menjadi koefisien *wavelet* dan sebaliknya[4]. Pesan yang diisi pada IHWT menggunakan skema perbedaan koefisien yang diadopsi dari teknik PVD (*Pixel Value Differencing*). Dalam teknik PVD perbedaan dua pixel pada citra dihitung dan jumlah bit yang akan diisi dalam dua *pixel* ditentukan oleh nilai absolut yang berbeda dan sebelumnya didefinisikan pada tabel kisaran. Bit data kemudian diisi dengan memodifikasi nilai

dua *pixel*, karena kisaran yang sama dalam tabel kisaran akan dipanggil sebelum dan setelah data diisi. Jumlah yang sama dari

Skema Steganografi biasanya dievaluasi berdasarkan tiga parameter yakni kapasitas *embedding (Payload)*, kualitas visual, dan keamanan [6]. Skema penyembunyian informasi pada umumnya menyisipkan pesan dalam media asli dengan melakukan modifikasi konten [7]. Kualitas citra dapat dilihat pada citra sebelum dan sesudah disisipi oleh pesan [8]. Selain itu terdapat tiga persyaratan untuk steganografi yang efektif yakni kapasitas (*capacity*), tingkat visibilitas (*imperceptibility*), dan kekokohan (*robustness*). Dalam penelitian ini dilakukan analisa perbandingan teknik steganografi IHWT (*Integer Wavelet Transform*) dan *modulus function* dengan IHWT (*Integer Wavelet Transform*) dan PVD (*Pixel Value Differencing*) pada citra digital. Pemilihan analisa metode tersebut didasarkan pada alasan bahwa IHWT mampu menghasilkan koefisien bernilai *integer* sehingga mampu mengatasi masalah nilai *float* pada DWT (*Discret Wavelet Transform*). Sedangkan *modulus function* mampu mengurangi perubahan nilai koefisien (*coefficient adjustment*) sehingga mampu meningkatkan kualitas citra. *Modulus function* juga bekerja pada rentan *integer* sehingga sesuai dengan IHWT yang bekerja pada rentan *integer*.

2. LANDASAN TEORI

Dasar teori penelitian ini dimulai dengan adanya masalah penggunaan metode LSB yang menempelkan informasi pada file rentan terhadap manipulasi gambar kecil [9]. Dalam makalah tersebut dengan menggunakan metode DCT yang bekerja sempurna dengan distorsi minimal kualitas gambar dibandingkan dengan LSB. Meskipun jumlah data rahasia yang dapat disembunyikan dengan menggunakan teknik ini sangat kecil dibandingkan dengan LSB. Kemudian

data bit dapat ditentukan dan kemudian data bit yang diisi dapat diekstrak dengan tepat[3].

dilanjutkan dengan penelitian [4] yang mengeliminasi kelemahan pada DCT dengan menggunakan metode Discrete Wavelet Transform (DWT) yang lebih kompatibel dengan Human Visual System (HVS). Namun ditemukan masalah bahwa titik mengambang DWT dapat menyebabkan kehilangan beberapa informasi. Menggunakan Integer Haar Wavelet Transform (IHWT) menggunakan koefisien skema perbedaan yang diadopsi dari *Pixel Value differencing (PVD)* dapat dengan mudah mengungguli metode yang ada dalam hal *imperceptibility* serta kapasitas maksimum. Selanjutnya dalam [3] ditemukan masalah bahwa mata manusia mentolerir perubahan lebih banyak di tepi dan tekstur daerah daripada di daerah halus menjadi landasan penelitian untuk melakukan modifikasi metode PVD. Hasil percobaan menunjukkan metode ini tidak hanya meningkatkan tingkat *embedding* dan kapasitas *embedding* yang baik tetapi juga untuk menjaga kualitas stego-image. Dan pada [10] ditemukan masalah bahwa terdapat *floating point* pada DWT. Makalah ini melakukan percobaan untuk meningkatkan kualitas gambar stego dari metode sebelumnya yang menggunakan perbedaan koefisien pada IHWT. Makalah ini menggunakan fungsi modulus pada dua koefisien yang berdekatan untuk menanamkan pesan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mencapai *imperceptibility* lebih tinggi dari metode sebelumnya dan telah menghasilkan perbaikan pada kualitas gambar stego. Berikut adalah tabel referensi yang digunakan sebagai acuan penelitian.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *software*

dan *hardware*. Berikut adalah rincian instrumen penelitian:

3.1.1 Software

Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah Matlab versi R11 digunakan untuk melakukan pengkodean metode yang dianalisis baik IHWT+MOD maupun IHWT+PVD.

3.1.2 Hardware

Hardware yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop merk Asus tipe Asus A43E-VX1071D dengan *processor core i3*.

3.2 Prosedur Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian diambil dari <http://sipi.usc.edu/database/>. Berupa citra warna yaitu : *lena.tiff*, *baboon.tiff*, *house.tiff*, *airplane.tiff*, *splash.tiff*, *tiffany.tiff*, *sailboat.tiff*, dan *peppers.tiff*. Masing-masing berdimensi : 512 x 512 dengan format *tiff*. Sedangkan untuk citra sisipan menggunakan logo fasikom udinus dengan dimensi 128 x 128 dengan format *bmp*.

3.3 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan menggunakan statistik. Dalam penelitian ini analisis data akan menggunakan teknik statistik inferensial yang dimana dalam statistik inferensial ada upaya untuk melakukan penarikan kesimpulan dan membuat keputusan berdasarkan analisis yang telah dilakukan.

3.4 Metode yang diusulkan

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental yang berarti mengadakan manipulasi terhadap objek penelitian dan melakukan kontrol pada objek penelitian [11]. Metode eksperimental mempunyai tujuan menyelidiki hubungan sebab akibat dan seberapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan kontrol perbandingan. Berikut adalah beberapa kriteria umum pada metode eksperimental :

- a. Pemilihan masalah yang dipilih harus penting dan dapat dipecahkan
- b. Mendefinisikan *variable* secara mendalam dalam suatu percobaan
- c. Melakukan percobaan yang sesuai dengan desain percobaan yang cocok
- d. Ketelitian saat observasi dan ketepatan pengukuran sangatlah diperlukan
- e. Menjelaskan metode, material, dan referensi yang jelas
- f. Analisis pengujian statistik
- g. Interpretasi dan generalisasi

Syarat suatu percobaan yang baik adalah sebagai berikut :

- a. Harus bebas dari bias
- b. Mempunyai ukuran terhadap error atau kesalahan
- c. Mempunyai ketepatan
- d. Mendefinisikan tujuan dengan jelas
- e. Mempunyai jangkauan percobaan yang cukup

Tahapan penelitian yang digunakan yaitu pertama kali adalah identifikasi masalah, yaitu mengidentifikasi masalah atau kelemahan yang terjadi pada teknik LSB, DCT, DWT, dan IWT. Pada teknik LSB mempunyai kelemahan yaitu menempelkan informasi pada file rentan terhadap manipulasi gambar kecil [9]. Metode DCT yang bekerja sempurna dengan distorsi minimal kualitas gambar dibandingkan dengan LSB. Meskipun jumlah data rahasia yang dapat disembunyikan dengan menggunakan teknik ini sangat kecil dibandingkan dengan LSB Sedangkan pada DWT ditemukan masalah bahwa titik mengambang DWT dapat menyebabkan kehilangan beberapa informasi [4]. Tahapan kedua yaitu mencari alternatif solusi dimana dengan adanya masalah pada metode-metode tersebut, maka dilakukan pencarian solusi pada permasalahan dari beberapa penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa metode IHWT (*Integer Haar Wavelet*

Transform) merupakan salah satu solusi permasalahan. Selanjutnya yaitu tahapan implementasi yang mana mengimplementasikan metode algoritma yang telah terpilih untuk diimplementasikan dengan teknik *embedding* dan ekstraksi yang digunakan untuk pentipisan pesan pada steganografi yaitu *modulus function* dan PVD (*Pixel Value Differencing*). Setelah melakukan tahapan implementasi maka, selanjutnya melakukan evaluasi pengujian hasil implementasi menggunakan teknik evaluasi PSNR (*Peak Signal to Noise Ration*) dan SSIM (*Structural Similarity*). Yang terakhir adalah tahapan pengambilan kesimpulan di mana dapat disimpulkan keakuratan metode tersebut dengan melihat hasil evaluasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan dilakukan menggunakan MATLAB versi R11 dengan melibatkan 8 gambar berupa citra warna yaitu: lena.tiff, baboon.tiff, house.tiff, airplane.tiff, splash.tiff, tiffany.tiff, sailboat.tiff, dan peppers.tiff. Masing-masing berdimensi : 512 x 512 dengan format tiff. Sedangkan untuk citra sisipan menggunakan logo fasilkom udinus dengan dimensi 128 x 128 dengan format bmp. Untuk mengukur kualitas citra stego digunakan SSIM (*Standard Structural Similarity*) dan PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*). Kemudian digunakan nilai ambang batas (*threshold*) 2 dan 3 untuk semua eksperimen IHWT dengan PVD dan IHWT dengan *Modulus Function*. Logo fasilkom udinus disisipkan sebagai pesan ke dalam gambar asli dalam domain frekuensi tinggi (HL, LH, dan HH) dengan nilai ambang batas 2 dan 3 dengan metode IHWT dan PVD. Kemudian SSIM dan PSNR digunakan untuk mengukur *imperceptibility* (tingkat visibilitas). Dalam tabel 4.1 hasil eksperimen menunjukkan nilai threshold 2 (T=2) lebih baik dibandingkan nilai threshold 3 (T=3) dalam hal *imperceptibility* dengan memberikan gambar berkualitas tinggi

secara konsisten seperti yang tergambar pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 .

Tabel 4.1 kualitas citra stego IHWT dengan PVD

Citra Stego	PSNR		SSIM	
	T=2	T=3	T=2	T=3
Lena	50.6378	48.5765	0.9959	0.9933
Baboon	50.7228	48.8830	0.9987	0.9978
House	50.2956	48.0693	0.9961	0.9930
Airplane	50.5110	48.2638	0.9948	0.9909
Splash	48.5489	46.0226	0.9783	0.9711
Tiffany	45.3217	41.9056	0.9921	0.9854
Sailboat	50.3830	48.2685	0.9970	0.9949
Peppers	47.4136	44.8858	0.9793	0.9721
Nilai rata-rata	49.2293	46.85939	0.991525	0.987313

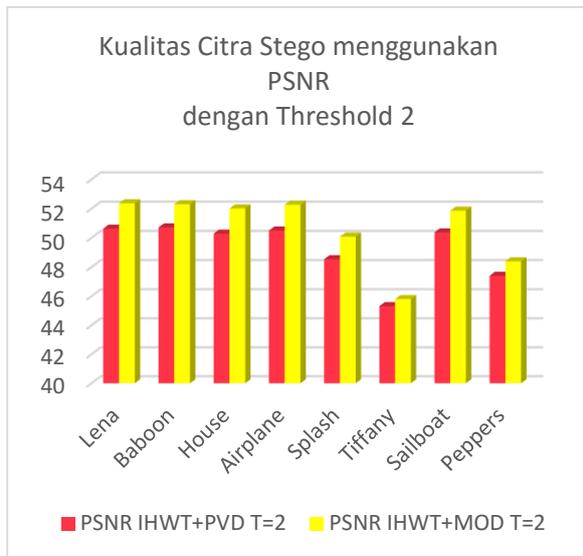
4.1 Performa IHWT + Modulus Function

Logo fasilkom udinus disisipkan sebagai pesan ke dalam gambar asli dalam domain frekuensi tinggi (HL, LH, dan HH) dengan nilai ambang batas 2 dan 3 dengan metode IHWT dan *Modulus Function*. Kemudian SSIM dan PSNR digunakan untuk mengukur *imperceptibility* (tingkat visibilitas). Dalam tabel 4.1 hasil eksperimen menunjukkan nilai threshold 2 (T=2) lebih baik dibandingkan nilai threshold 3 (T=3) dalam hal *imperceptibility* dengan memberikan gambar berkualitas tinggi secara konsisten seperti yang tergambar pada gambar 4.3 dan gambar 4.4. Didapat pula bahwa pada IHWT dan *Modulus Function* nilai hasil evaluasi kualitas citra lebih unggul dibandingkan nilai hasil evaluasi yang dihasilkan oleh IHWT dan PVD.

Tabel 4.2 Performa kualitas citra stego menggunakan metode IHWT dan Modulus Function

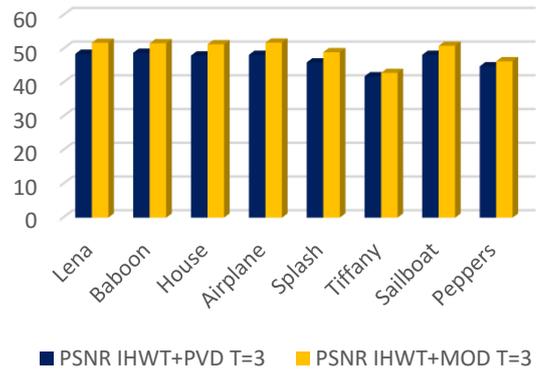
Citra Stego	PSNR		SSIM	
	T=2	T=3	T=2	T=3
Lena	52.3757	51.8442	0.9973	0.9969
Baboon	52.3060	51.6960	0.9991	0.9989
House	52.0164	51.4098	0.9976	0.9976
Airplane	52.2765	51.8777	0.9967	0.9965
Splash	50.0898	49.0432	0.9809	0.9778
Tiffany	45.8083	42.9236	0.9943	0.9918
Sailboat	51.8674	50.9396	0.9979	0.9976
Peppers	48.4047	46.3667	0.9808	0.9751
Nilai rata-rata	50.6431	49.5126	0.993075	0.991525

4.2 Perbandingan Treshold



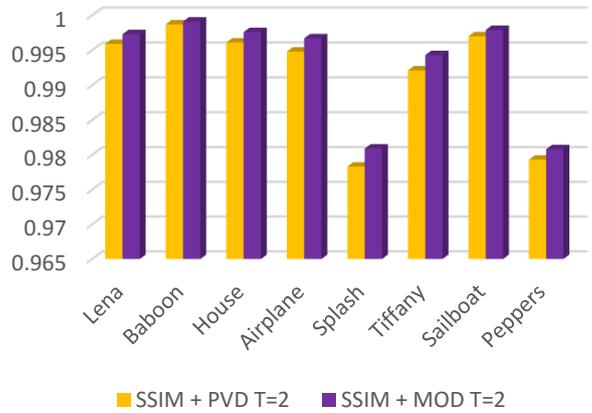
Gambar 4.1 Kualitas Citra Stego menggunakan PSNR dengan threshold 2

Kualitas Citra Stego menggunakan PSNR dengan Threshold 3

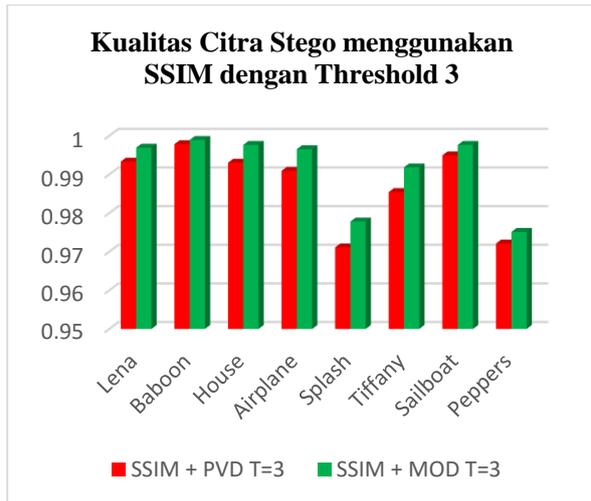


Gambar 4.2 Kualitas citra stego menggunakan PSNR dengan threshold 3

Kualitas Citra Stego menggunakan SSIM dengan Threshold 2



Gambar 4.3 Kualitas citra stego menggunakan SSIM dengan threshold 2



Gambar 4.4 Kualitas citra stego menggunakan SSIM dengan threshold 3

4.3 Analisis dan Diskusi

Berdasarkan hasil percobaan dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 dengan teknik evaluasi PSNR menggunakan threshold 2 menunjukkan bahwa kualitas citra yang dihasilkan teknik IHWT dan *Modulus Function* nilainya lebih tinggi dibanding dengan IHWT dan PVD. Sedangkan pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 juga menunjukkan hasil yang sama bahwa IHWT dan *Modulus function* mempunyai hasil kualitas citra yang lebih bagus dibandingkan dengan IHWT dan PVD. Hal ini dikarenakan IHWT dan *Modulus Function* sama-sama bekerja pada rentang koefisien integer dan *modulus function* juga dapat menekan perubahan nilai koefisien (*koeficient adjustment*) yang dialami pada saat proses dekontruksi. Meskipun pada teknik evaluasi PVD juga bekerja pada rentang koefisien *adjustment* tetapi pada teknik PVD belum mampu menekan perubahan nilai koefisien (*koeficient adjustment*) yang dapat mengakibatkan rusaknya pesan yang telah disisipkan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang penulis lakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Performa kualitas citra stego yang dihasilkan pada analisis IHWT dan PVD dengan IHWT dan *Modulus*

Function didapat bahwa kualitas citra terbaik dihasilkan oleh IHWT dan *Modulus Function* hal tersebut dikarenakan metode steganografi dan teknik embedding tersebut sama-sama bekerja pada rentang koefisien integer dan *modulus function* mampu menekan perubahan nilai koefisien (*koeficient adjustment*) yang terjadi pada saat proses dekontruksi. Sedangkan PVD merupakan teknik *embedding* yang juga bekerja pada rentang koefisien integer dan pada rentang koefisien *adjustment*. Namun, PVD belum mampu menekan perubahan koefisien yang terjadi pada proses dekontruksi. Hal tersebut dapat terlihat pada hasil rata-rata evaluasi yang didapat yaitu pada IHWT + PVD dengan *threshold* 2 menggunakan PSNR menghasilkan nilai sebesar 49.2293 sedangkan dengan SSIM menghasilkan nilai sebesar 0.991525, untuk. Pada IHWT + *Modulus function* dengan *threshold* 2 menggunakan PSNR menghasilkan nilai sebesar 50.6431 sedangkan dengan menggunakan SSIM menghasilkan nilai sebesar 0.993075.

2. Perubahan nilai yang dialami oleh file citra asli dengan file citra stego hanya berkisar diantara (-1) sampai dengan 1 selisihnya. Sebab hal tersebut terjadi karena metode steganografi IHWT (*Integer Haar Wavelet Transform*) merupakan domain frekuensi. Dimana domain frekuensi bekerja dengan cara mengubah nilai pixel pada citra asli saat proses penyisipi pesan.

6. REFERENSI

- [1] J. Xu, A. H. Sung, P. Shi, and Q. Liu, "JPEG Compression Immune Steganography Using Wavelet Transform," pp. 0–4, 2004.
- [2] S. Sajasi and A. E. Moghadam, "An adaptive image steganographic scheme based on Noise Visibility Function and an optimal chaotic based encryption method," *Appl.*

- Soft Comput. J.*, vol. 30, pp. 375–389, 2015.
- [3] S. Shen and L. Huang, “A data hiding scheme using pixel value differencing and improving exploiting modification directions,” *Comput. Secur.*, vol. 48, pp. 131–141, 2014.
- [4] N. A. Abu, P. W. Adi, and O. Mohd, “Robust Digital Image Steganography within Coefficient Difference on Integer Haar Wavelet Transform,” no. April, 2014.
- [5] T. Vi and P. Arulmozhivarman, “High Security Image Steganography Using IWT and Graph Theory,” pp. 337–342, 2013.
- [6] N. Maleki, M. Jalali, and M. V. Jahan, “Adaptive and non-adaptive data hiding methods for grayscale images based on modulus function,” *Egypt. Informatics J.*, vol. 15, no. 2, pp. 115–127, 2014.
- [7] C. Lee, H. Chen, and H. Tso, “Embedding capacity raising in reversible data hiding based on prediction of difference expansion,” *J. Syst. Softw.*, vol. 83, no. 10, pp. 1864–1872, 2010.
- [8] H. R. Sheikh and A. C. Bovik, “Image Information and Visual Quality,” vol. 15, no. 2, pp. 430–444, 2006.
- [9] D. E. Walia, P. Jain, and N. Deep, “An Analysis of LSB & DCT Based Steganography,” *Glob. J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 4–8, 2010.
- [10] P. W. Adi and F. Z. Rahmanti, “High Quality Image Steganography on Integer Haar Wavelet Transform using Modulus Function,” 2015.
- [11] B. Li, L. Lei, and X. Zhang, “Neurocomputing Constrained discriminant neighborhood embedding for high dimensional data feature extraction,” pp. 1–8, 2015.