

ANALISIS *COMPRESSIVE SAMPLING* MENGGUNAKAN TEKNIK GABUNGAN SWT-DST PADA STEGANOGRAFI CITRA DIGITAL BERBASIS QIM

ANALISYS *COMPRESSIVE SAMPLING WITH COMBINATION TECHNIQUE* SWT-DST ON STEGANOGRAPHY DIGITAL IMAGE BASED ON QIM

Dwi Bayu Leksono¹, Dr. Ir. Jangkung Raharjo, M.T.², Irma Safitri, S.T., M.Sc.³
 dwibayuleksono@student.telkomuniversity.ac.id¹, jangkungraharjo@telkomuniversity.ac.id²,
 irmasaf@telkomuniversity.ac.id³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Steganografi merupakan sebuah teknik untuk menyembunyikan suatu data dan informasi pada sebuah media tanpa menimbulkan kecurigaan dari pihak lain. Dalam penelitian kali ini penulis akan menerapkan steganografi pada file citra digital dengan metode *Quantization Index Modulation (QIM)* dengan teknik gabungan *Stationary Wavelet Transform (SWT)* dan *Discrete Sine Transform (DST)*, dimana sebelumnya data yang akan disisipkan diefisiensikan terlebih dahulu menggunakan teknik *Compressive Sensing (CS)*. Hasil dari penelitian ini didapatkan hasil *stego image* yang mempunyai parameter *Bit Error Rate (BER)* yang rendah atau $BER = 0$, *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* yang tinggi atau *infinite* dan *Structural Similarity Index Matrix (SSIM)* yang tinggi atau $SSIM = 1$.

Kata kunci : *Steganografi, Stationary Wavelet Transform, Discrete Sine Transform, Quantization Index Modulation, Compressive Sampling.*

Abstract

Steganography is a technique for hiding data and information on a media without arousing suspicion from other parties. In this research the writer will apply steganography on digital image by using Quantization Index Modulation (QIM) method with combination technique Stationary Wavelet Transform (SWT) and Discrete Sine Transform (DST), where previously the data to be inserted is first streamlined using the Compressive Sensing (CS) technique. The results of this study obtained stego image results that have a low Bit Error Rate (BER) parameter or $BER = 0$, high or infinite on Structural Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), High Similarity Index Matrix (SSIM) or $SSIM = 1$.

Keyword : *Steganography, Stationary Wavelet Transform, Discrete Sine Transform, Quantization Index Modulation, Compressive Sampling*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi di zaman sekarang semakin canggih dan modern. sehingga memungkinkan pengguna melakukan pertukaran informasi kapanpun dan dimanapun dengan menggunakan internet secara realtime. Namun dibalik semua keuntungan serta kenyamanan yang diberikan oleh teknologi internet ada juga kelemahan-kelemahan yang tidak bisa kita hindarkan.

Steganografi adalah salah satu teknik menyembunyikan data atau informasi pada suatu media tanpa menimbulkan kecurigaan pihak lain karena hanya pengirim dan penerima yang mengetahui informasi yang tersisip pada media tersebut. Data yang disisipkan disebut *stego file* sedangkan media yang dipakai sebagai penampung disebut *cover image*. Penyisipan informasi kedalam data *digital* dilakukan dengan menggunakan *key* yang hanya diketahui oleh pengirim dan penerima saja [1].

Penelitian tentang pengolahan steganografi citra digital sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa orang, salah satunya adalah yang dilakukan oleh K. Thangadurai beserta G. Sudha Devi pada jurnalnya yang berjudul "An Analysis of LSB based image steganography techniques", yang dipublikasikan di IEEE pada tahun 2014. Pada penelitian kali ini akan digunakan steganografi dengan menggabungkan 2 metode yaitu, *Stationary Wavelet Transform (SWT)* dan *Discrete Sine Transform (DST)*. Sebelumnya data akan diproses terlebih dahulu dalam metode *Compressive Sampling (CS)* sebelum data disisipkan. Yang selanjutnya data disisipkan pada sebuah *cover image* dengan menggunakan metode *Quantization Index Modulation (QIM)*. Kemudian nantinya steganografi citra digital yang telah dibuat akan dilakukan proses pengujian performansi melalui parameter *PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)*. Serta pengujian ketahanan dengan parameter *BER (Bit Error Rate)*.

2. Dasar Teori

2.1. Stationary Wavelet Transform (SWT)

Stationary wavelet transform (SWT) merupakan salah satu jenis dari transformasi wavelet. SWT merupakan bentuk modifikasi dari *Discrete Wavelet Transform* (DWT). DWT memiliki kekurangan dalam *translation variant*, namun kekurangan itu bisa diatasi dengan menggunakan SWT [2]. Kelebihan dari SWT adalah walaupun sudah dilakukan pergeseran sinyal, nilai koefisien dari suatu objek tidak akan berubah, SWT juga memiliki performa yang lebih baik dalam *de-noising* dan deteksi tepi (*edge detection*).

Translation invariant dapat dicapai dengan menghilangkan *samplers* bawah dan *samplers* sampul di DWT dan up sampling koefisien dengan factor $2^{(j-1)}$ pada tingkat ke- j dari algoritma [2]. Maka dari itu, SWT merupakan sebuah teknik redundant dimana output dari setiap levelnya memiliki nomer sampel yang sama dengan inputnya dan dapat meningkatkan detail dari resolusi tepi menggunakan tiga grup dari koefisien waveletnya.

2.2. Discrete Sine Transform (DST)

Discrete Sine Transform (DST) serupa dengan *Discrete Fourier Transform* (DFT). *Discrete Sine Transform* (DST) menyatakan fungsi domain waktu atau sinyal dalam jumlah sinusoidal dengan perbedaan frekuensi dan amplituda. *Discrete Sine Transform* (DST) dari satu dimensi sinyal atau fungsi, $x(n)$ dengan $0 \leq n \leq N-1$, yang terdefinisi sesuai persamaan berikut:

$$X(k) = DST [x(n)] \triangleq \sqrt{\frac{2}{N+1}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin \left[\frac{\pi(k+1)(n+1)}{N+1} \right] \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 dapat ditulis dalam notasi matriks sebagai berikut:

$$x = AX \quad (2.2)$$

Dimana x merupakan vektor $N \times 1$ yang mengandung koefisien DST, A merupakan matriks DST $N \times N$, dan X adalah vektor $N \times 1$ yang mengandung koefisien sinyal input. Persamaan 2.1 dan 2.2 disebut persamaan analisis atau *Forward Transformation* dari DST. Matriks $N \times N$ disebut sebagai kernel dari DST [3].

Adapun *Invers Discrete Sine Transformation* (IDST) dari $X(k)$ yaitu diformulasikan dengan:

$$x(n) = IDST [X(k)]$$

$$x(n) = \sqrt{\frac{2}{N+1}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \sin \left[\frac{\pi(k+1)(n+1)}{N+1} \right] \quad (2.3)$$

Dimana, $x \leq n, k \leq N-1$.

IDST juga dapat dikomputasi dalam matriks sebagai berikut:

$$x = A^{-1}X \quad (2.4)$$

Dimana X , x , dan A mempunyai makna yang sama dengan yang telah disebutkan sebelumnya.

2.3. Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) merupakan sebuah teknik yang biasa digunakan untuk mendekomposisi sebuah matriks. SVD mendekomposisikan sebuah matriks menjadi 3 komponen matriks yang tersusun dari 2 matriks ortogonal serta sebuah matriks diagonal yang berisi nilai-nilai *singular*. *Singular Value Decomposition* (SVD) dari sebuah matriks W adalah faktorisasi W menjadi tiga matriks $W = USV^T$, dimana U dan V merupakan matriks ortogonal dan S merupakan matriks diagonal dengan bilangan real positif. Matriks U , S dan V bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$W^T W = V S^T U^T S V^T \quad (2.5)$$

Karena U merupakan matriks yang orthogonal maka $U U^T = 1$, sehingga persamaannya menjadi:

$$W^T W = V S^T S V^T \quad (2.6)$$

Lalu persamaan dibawah ini juga disederhanakan seperti persamaan diatas:

$$W W^T = U S V^T V S^T U^T \quad (2.7)$$

$$W W^T = U S S^T U^T \quad (2.8)$$

Dapat dilihat bahwa persamaan $W^T W = V S^T S V^T$ merupakan persamaan diagonalisasi, begitu juga dengan $W W^T = U S S^T U^T$, maka $S^T S$ dan $S S^T$ merupakan nilai-nilai eigen untuk setiap vektor eigen V dan U . Dengan contoh perkalian SDV sebagai berikut [4]:

$$W = U S V^T$$

$$W = \sum_{i=1}^M \lambda_i U_i V_i^T \quad (2.9)$$

2.4. Quantization Index Modulation (QIM)

Dalam pendekatan *Quantization Index Modulation* (QIM), sebuah pesan disipkan ke dalam sinyal host menggunakan multiple set dari *quantizer*, dimana setiap *quantizer* memiliki indeks masing-masing. Rumus dari QIM sebagai berikut [5] :

$$S(x, m) = Q_m(x) \tag{2.10}$$

dimana m merupakan *file stego* dan $Q_m(x)$ adalah fungsi kuantisasi.

2.5. Compressive Sampling (CS)

Compressive Sampling (CS) atau yang sering disebut *Compressed Sensing* merupakan suatu teknik pemrosesan sinyal untuk mendapatkan dan merekonstruksi sinyal secara efisien, juga sebagai kompresi sinyal. CS dapat merekonstruksi sinyal dengan menggunakan sejumlah pengukuran acak yang disebut *sensing matrix* dan sinyalnya harus berjarang. Suatu sinyal $x \in R^N$ adalah *k-sparse* ketika hampir seluruh elemen k dari x adalah *non-zero*. Bila $f \in R^N$ adalah sinyal *k-sparse* pada ruang ψ yang merupakan kombinasi linear dari N , maka ψ merupakan suatu basis ortonormal dan f muncul dengan persamaan [6]:

$$f = \psi x \tag{2.11}$$

Lalu sinyal x bisa merepresentasikan suatu sinyal *sparse* dengan menggunakan persamaan:

$$x = \psi' f \tag{2.12}$$

Dan

$$y = \phi f \tag{2.13}$$

Dimana $y \in R^M$ adalah vektor perhitungan dan ϕ adalah $M \times N$ *sensing matrix*. Lalu persamaan sebelumnya akan diubah menjadi.

$$y = \phi f = \phi \psi x = \phi x \tag{2.14}$$

Dimana $\phi \in R^{M \times N}$ merepresentasikan *underdetermined matrix* dengan $M \ll N$.

$$M = O(k) \log\left(\frac{N}{k}\right) \tag{2.15}$$

Ketika ϕ adalah matriks *random Gaussian*, maka perhitungan merepresentasikan baris dari *sensing matrix* [6].

Metode rekonstruksinya memperkirakan jika sinyal \hat{x} yang hampir seluruh nilai k adalah *non-zero* dan $k < M \ll N$. Jika matriks ϕ memenuhi *Restricted Isometry Property* (RIP), maka \hat{x} bisa direkonstruksi sepenuhnya menggunakan algoritma OMP (*Orthogonal Matching Pursuit*) dan OMP-PKS (*Orthogonal Matching Pursuit-Partially Known Support*).

Suatu matriks ϕ dikatakan memenuhi RIP dengan order k jika terdapat $\delta_k \in (0,1)$ seperti:

$$(1 - \delta_k) \|x\|_2^2 \leq \|\phi x\|_2^2 \leq (1 + \delta_k) \|x\|_2^2 \tag{2.16}$$

Dimana δ_x merupakan *Restiricted Isometry Constant* (RIC). Jika ϕ memenuhi RIP dengan order $2k$ dengan $\delta_k < \sqrt{2} - 1$, k menyebar vektor x dan persamaan (2.16) dapat direkonstruksi menggunakan algoritma OMP dan OMP-PKS menjadi:

$$\hat{x} = \arg \min_x \|x\|_1 \text{ s.t. } y - \phi x = 0 \tag{2.17}$$

Ketika ϕ adalah matriks *random Gaussian*, maka perhitungannya menjadi:

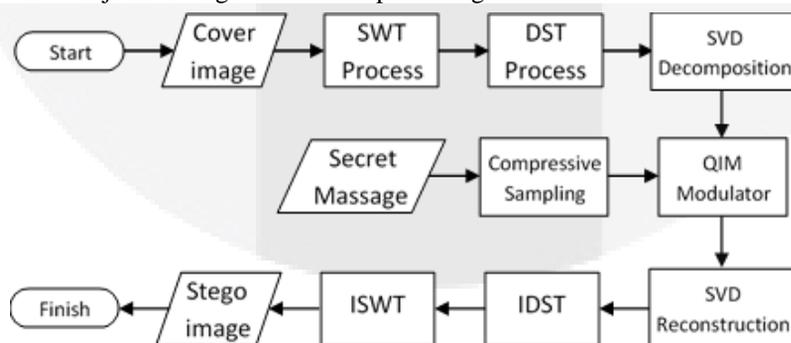
$$M = O(x) \log\left(\frac{N}{k}\right) \tag{2.18}$$

Merepresentasikan baris dari *sensing matrix*.

3. Perancangan dan Simulasi Sistem

3.1. Proses Encoding

Perancangan sistem dijelaskan dengan diagram alir dibawah ini. Secara garis besar sistem terbagi menjadi dua buah proses. input yang digunakan dalam sistem adalah pesan berupa citra *black and white* dan *cover* citra berupa citra warna (RGB). Berikut ini dijelaskan algoritma dalam perancangan sistem.



Gambar 3.1 Diagram Alur Proses Encoding

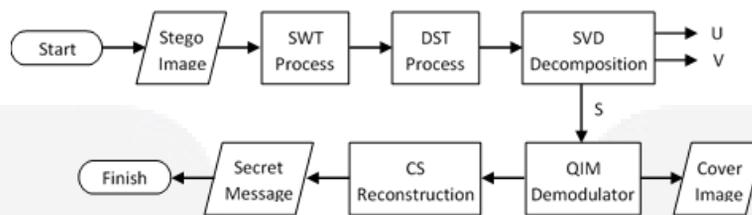
Langkah-langkah dalam proses *embedding*:

Langkah 1: Membaca *cover image*.

Langkah 2: Lakukan transformasi SWT terhadap *cover image* yang sebelumnya sudah di inialisasi pada langkah 1 sehingga menghasilkan satu koefisien *approximation* dan tiga koefisien *detail* yaitu: horizontal, vertikal, dan diagonal.

- Langkah 3: Lakukan pemilihan koefisien wavelet yang dihasilkan dari transformasi SWT. Langkah bertujuan untuk memilih wavelet yang akan dijadikan sebagai media yang akan disisipi.
- Langkah 4: Lakukan pemecahan blok-blok piksel pada koefisien yang telah dipilih dengan ukuran 8x8.
- Langkah 5: Lakukan proses *Discrete Sine Transform* (DST) pada setiap blok piksel yang tersedia. Langkah ini bertujuan untuk mengubah matriks pada setiap blok, dari domain waktu ke domain frekuensi.
- Langkah 6: Lakukan proses *SVD Decomposition* yang hasilnya berupa manipulasi matriks S , U , dan V . Dimana matriks S dipilih untuk selanjutnya akan memlalui proses QIM, sedangkan matriks U dan V akan diteruskan langsung menuju proses *SVD Reconstruction*.
- Langkah 7: Lakukan proses kompresi terhadap bit-bit pesan rahasia dengan teknik *Compressive Sampling*, untuk meminimalisir waktu pemrosesan dalam sistem sebelum dilakukan penyisipan.
- Langkah 8: Proses penyisipan dilakukan dengan metode QIM antara pesan rahasia yang telah dilakukan proses *compressive sampling* terhadap cover image.
- Langkah 9: Lakukan proses *SVD Reconstruction*, hasil penyisipan antara citra pesan dengan matriks S pada proses sebelumnya kemudian digabungkan kembali bersama matriks U dan V .
- Langkah 10: Lakukan proses *Invers DST*.
- Langkah 11: Lakukan *Inverse SWT*.
- Langkah 12: *Stego-image* dihasilkan.

3.2. Proses Decoding



Gambar 3.5 Diagram Alir Proses Decoding

Proses *decoding* pada gambar 3.5 dijelaskan seperti berikut:

- Langkah 1: Lakukan pembacaan *stego image*.
- Langkah 2: Lakukan transformasi SWT.
- Langkah 3: Lakukan pemilihan koefisien yang telah disisipi pesan rahasia.
- Langkah 4: Lakukan pemecahan blok-blok piksel pada koefisien yang dipilih dengan ukuran 8x8.
- Langkah 5: Lakukan transformasi DST untuk mengubah domain matriks pada setiap blok dari domain waktu ke domain frekuensi.
- Langkah 6: Lakukan proses *SVD Decomposition* yang hasilnya berupa manipulasi menjadi matriks S , U dan V . Lalu matriks S dipilih untuk selanjutnya dilanjutkan pada proses demodulasi QIM.
- Langkah 6: Lakukan proses demodulasi QIM. Sehingga memisahkan cover image dengan *stego file*.
- Langkah 7: Lakukan rekonstruksi terhadap *stego-file* dengan CS menggunakan persamaan OMP. Keluaran dari proses *CS reconstruction* adalah pesan rahasia asli pada sisi penerima.
- Langkah 8: Terakhir, menghitung parameter *Bit Error Rate* (BER).

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1. Skenario Pengujian Sistem

Tabel 4.1 Parameter Pengujian Sistem Encoding

Parameter	Ragam Nilai Pada Parameter
Ruang Warna <i>Cover Image</i>	RGB
	YCbCr
Resolusi <i>Cover Image</i>	256 x 256
	512 x 512
	1024 x 1024
Bit Kuantisasi	1
	5
	9
Faktor <i>Input</i>	0,2
	0,6
	1
Ratio Kompresi CS	62.5%
	87.5%

Tabel 4.2 Parameter Pengujian Sistem Decoding

Parameter	Ragam Nilai pada Parameter
JPEG <i>Compression</i>	25%
	50%
	75%
	100%
<i>Median Filter</i> (AWGN)	0.001
	0.01
	0.1
<i>Salt and Pepper Noise</i>	0.001
	0.01
	0.1

Skenario pengujian sistem dilakukan dengan mengacu pada kedua tabel diatas. Pada proses *encoding* pengujian sistem dilakukan dengan merubah salah satu nilai parameter saja. Pengujian sistem *decoding* bertujuan untuk mengetahui ketahanan *stego file* yang dihasilkan, dengan cara diberikan serangan berupa *JPEG Compression, Median Filter (AWGN), dan noise (Salt and Pepper)*.

4.2. Analisa Pengaruh Parameter

Tabel 4.3 Pengaruh Ruang Warna *Cover Image*

		Resolusi <i>Cover Image</i>	256		
		Bit Kuantisasi	1		
		Faktor Input	1		
		Optimasi CS	-		
Ruang Warna <i>Cover Image</i>	PSNR	BER	SSIM	C	
RGB	Inf	0	1	1:256	
YCbCr	52.1566	0	1	1:256	

Tabel 4.4 Analisis Pengaruh Resolusi *Cover Image*

		Ruang Warna	RGB		
		Bit Kuantisasi	1		
		Faktor Input	1		
		Optimasi CS	-		
Resolusi <i>Cover Image</i>	PSNR	BER	SSIM	C	
256 x 256	Inf	0	1	1:256	
512 x 512	Inf	0	1	1:1024	
1,024 x 1,024	Inf	0	1	1:4096	

Dari tabel diatas terlihat bahwa nilai ruang warna RGB lebih tinggi daripada ruang warna YCbCr. Faktor penyebabnya adalah perbedaan *range* nilai pada tiap *layer* masing-masing ruang warna. RGB terdiri dari *layer* R, G dan B memiliki *range* nilai dari 0-255. Sedangkan pada YCbCr, *layer* Y memiliki *range* nilai 16-235, *layer* Cb dan Cr memiliki *range* nilai 16-240. Dan, semakin besar resolusi *cover image* maka semakin baik kapasitasnya. Faktor penyebabnya adalah semakin besar resolusi maka semakin banyak *pixel* dari *cover image*, semakin banyak juga cakupan yang disisipkan tiap satu bit pesan rahasia. Perubahan nilai bit pada *pixel* setelah disisipkan tidak jauh berubah dibandingkan dengan resolusi *cover image* yang lebih kecil.

Tabel 4.5 Analisis Pengaruh Bit Kuantisasi

		Ruang Wana <i>Cover Image</i>	YCbCr		
		Resolusi <i>Cover Image</i>	256		
		Faktor Input	1		
		Optimasi CS	-		
Bit Kuantisasi	PSNR	BER	SSIM	C	
1	52.1566	0	1	1:256	
5	52.1566	0	1	1:256	
9	52.1566	0.0039	0.992	1:256	

Tabel 4.6 Analisis Pengaruh Faktor Input

		Ruang Warna	YCbCr		
		Resolusi <i>Cover Image</i>	256		
		Bit Kuantisasi	1		
		Optimasi CS	-		
Faktor Kuantisasi	PSNR	BER	SSIM	C	
0.2	52.1566	0	1	1:256	
0.6	52.1566	0	1	1:256	
1	52.1566	0	1	1:256	

Semakin besar nilai bit kuantisasinya maka semakin kecil nilai delta. Dimana semakin kecil nilai delta dari sebuah citra yang telah disisipi, semakin baik kualitas citranya. Semakin kecil faktor inputnya maka semakin besar juga cakupan yang disisipkan tiap satu bit *stego file*. Perubahan nilai bit pada *pixel* setelah disisipkan tidak jauh berubah dibandingkan dengan resolusi *cover image* yang lebih kecil.

4.3. Analisa ketahanan *Stego File* Terhadap Serangan

4.3.1. Ketahanan *Stego File* terhadap Serangan *JPEG Compression*

Tabel 4.7 Ketahanan *Stego File* Terhadap Serangan *JPEG Compression*

Ruang Warna <i>Cover</i>	Ragam Nilai Serangan	Tanpa CS		CS 62.5%		CS 87.5%	
		BER	SSIM	BER	SSIM	BER	SSIM
RGB	25%	0.4882	0.0375	0.5	0.0588	0.5625	0.0627
	50%	0.4687	0.0734	0.5625	0.0719	0.5468	0.0473
	75%	0.4687	0.0643	0.5937	0.0823	0.4843	0.0744
	100%	0.5117	0.0086	0.4843	0.0692	0.5468	0.0228
YCbCr	25%	0.4726	0.0629	0.4843	0.0814	0.4531	0.1311
	50%	0.4961	0.0313	0.4843	0.0814	0.5	0.0368
	75%	0.4648	0.0871	0.3906	0.2441	0.4843	0.0632
	100%	0.5507	0.0920	0.5625	0.0534	0.3906	0.2381

4.3.2. Ketahanan *Stego File* terhadap Serangan *Additive White Gaussian Noise*

Tabel 4.13 Ketahanan *Stego File* Terhadap Serangan *AWGN*

Ruang Warna <i>Cover</i>	Ragam Nilai Serangan	Tanpa CS		CS 62.5%		CS 87.5%	
		BER	SSIM	BER	SSIM	BER	SSIM
RGB	0.001	0.5468	0.0790	0.3593	0.2974	0.5625	0.0627
	0.01	0.4882	0.0338	0.5937	0.1069	0.4531	0.1043
	0.1	0.5429	0.0640	0.5781	0.0749	0.6093	0.1132
YCbCr	0.001	0.5351	0.0693	0.5312	0.0063	0.4218	0.1662
	0.01	0.4375	0.1445	0.5781	0.0749	0.5468	0.0558
	0.1	0.5273	0.0234	0.6093	0.1132	0.4844	0.0632

4.3.3. Ketahanan *Stego File* terhadap Serangan *Salt and Pepper Noise*

Tabel 4.13 Ketahanan *Stego File* Terhadap Serangan *Salt and Pepper Noise*

Ruang Warna <i>Cover</i>	Ragam Nilai Serangan	Tanpa CS		CS 62.5%		CS 87.5%	
		BER	SSIM	BER	SSIM	BER	SSIM
RGB	0.001	0.5429	0.0577	0.4218	0.1858	0.5312	0.0958
	0.01	0.4961	0.0145	0.5468	0.0473	0.5468	0.0473
	0.1	0.5156	0.0312	0.4218	0.1879	0.3906	0.2418
YCbCr	0.001	0.5078	0.0038	0.3906	0.2382	0.3906	0.2427
	0.01	0.4844	0.0786	0.5781	0.0957	0.4375	0.1582
	0.1	0.4882	0.0263	0.4843	0.0567	0.4687	0.0551

Dari percobaan menggunakan ketiga serangan diatas, yaitu berupa: *JPEG Compression*, *Additive White Gaussian Noise*, dan *Salt and Pepper Noise*. Didapatkan nilai BER yang besar sehingga berarti jumlah bit yang error banyak dan mengakibatkan gambar menjadi rusak setelah diekstrak. Nilai SSIM yang rendah berarti gambar pesan setelah diekstraksi memiliki nilai similarity yang jauh berbeda dari gambar pesan sebelum disisipkan, sehingga mengakibatkan gambar pesan setelah proses decoding menjadi sulit di kenali.

5. Simpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis dari skema yang telah dirancang, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Proses steganografi menggunakan metode SWT-DST dengan teknik penyisipan QIM dikombinasikan dengan pendekatan rekonstruksi *Compressive Sampling* (CS) algoritma *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP) terbukti dapat direalisasikan, dengan hasil PSNR = >100% (tak hingga), BER = 0 dan SSIM = 1, pada saat sebelum sistem diuji coba dengan menggunakan serangan.

Terkait dengan penerapan metode dan teknik yang digunakan dalam implementasi sistem, dihasilkan kualitas *stego image* mirip dengan citra *cover* yang digunakan terlihat dari perolehan nilai performansi PSNR = >100% (tak hingga) yang menunjukkan bahwa *cover image* sebelum dan sesudah penyisipan tidak terlihat adanya perubahan (identik).

Pengaruh CS algoritma OMP terhadap *stego image* menggunakan segmentasi yang sudah ada menurunkan nilai *robustness* dan meningkatkan nilai *encoding capacity*, dibandingkan proses *stego image* tanpa CS.

Saat sistem dijalankan tanpa ditambahkan dengan uji coba serangan, besar faktor input dan rasio bit tidak banyak mempengaruhi besar nilai parameter-parameter yang diujikan, karena besar nilai parameter PSNR bernilai infinit, BER = 0, dan SSIM = 1. Pada saat dilakukan serangan terhadap *stego image* didapatkan hasil yang kurang baik terlihat dari nilai BER besar atau BER > 30 dan SSIM yang kecil atau < 1. Hal ini mengakibatkan kualitas sistem yang digunakan dalam penelitian kali ini menghasilkan *stego image* yang tidak tahan terhadap serangan.

5.2. Saran

Berdasarkan penjabaran pengujian, analisis, dan kesimpulan dari skema yang telah dirancang, masih terdapat beberapa kesalahan dan kekurangan. Untuk itu, penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya yang bertujuan untuk memperoleh sistem yang lebih baik, yaitu:

1. Menggunakan algoritma rekonstruksi untuk *Compressive Sensing* lainnya seperti L1 dan OMP-PKS.
2. Menggunakan metode transformasi yang berbeda untuk penelitian selanjutnya.
3. Menggunakan metode *embedding* yang berbeda.

Daftar Pustaka

- [1] N. F. Johnson, Z. Duric, and S. Jajodia, *Information Hiding : Steganography and Watermarking - Attacks and Countermeasures*, 1st ed., no. 1. New York: Kluwer Academic, 2001.
- [2] A. Kaur and R. Sharma, "Stationary Wavelet Transform Image Fusion and Optimization Using Particle Swarm Optimization", India : Departmen of ECE, Punjabi University Patiala, 2016.
- [3] B. N. Madhukar and J. A. Sanjay, A Duality Theorem for the Discrete Sine Transform (DST), International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology, 2015.
- [4] E. Biglieri and K. Yao, "Some Properties of Singular Value Decomposition and Their Applications to Digital Signal Processing," *Signal Processing* 18, pp. 277-289, 1989
- [5] N. Khademi, M. A. Akhaee, S. M. Ahadi, M. Moradi, and A. Kashi, "Audio watermarking based on Quantization Index Modulation in the frequency domain", *ICSPC 2007 Proc. - 2007 IEEE Int. Conf. Signal Process. Commun.*, no. November, pp. 1127–1130, 2007.
- [6] A. M. Koya, "A Compressive Sensing Approach to DCT Watermarking System", *Int. Conf. Control. Commun. Comput. India*, pp. 495–500, 2015.
- [7] A. S. Hadiningrat, *Analysis of Message Security Using Modified Enhanced LSB and Four Neighbors Steganography With Chaining Hill Cipher Cryptography Algorithm*, 2016.