ISSN XXXX-XXXX IND. SYMPOSIUM ON COMPUTING VOL. XX, NO. XX, SEPT 2016
SOCJ.TELKOMUNIVERSITY.AC.ID/INDOSC PP. XX-XX. DOI:XXX

Optimasi Kapasitas Penyimpanan *Stego-Image* Menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Sahlya Handayati [#1], Danang Triantoro M [*2], ZKA Baizal [#3]

#School of Computing, Telkom University
Jl. Telekomunikasi No. 01, Bandung, Indonesia
[1] salyalyud@students.telkomuniversity.ac.id
[2] danangtri@telkomuniversity.ac.id

Abstract

Steganography is the art and science to hide data in a cover that it can be text, audio, image, video, etc. The application of this technique was to secure information delivery, where security is more geared to the information transmitted on the media is inserted and its existence does not invite suspicion from the perception of the human sensory observation. Application of steganography technique in digital imagery is said to have a good performance in the carrier's image suffered no loss of quality. Several steganography techniques such as LSB, HC-RIOT coder, DCT, and DWT. Most researches apply Discrete Wavelet Transform (DWT) due to its wide application in the new image compression standard, JPEG2000. Therefore, at thisfinal project will be applied to Discrete Wavelet Transform and Particle Swarm Optimization on steganography to optimize storage capacity stego-image. Particle Swarm Optimization algorithm with Optimal Pixel Adjustment Process is also applied to get the optimal mapping of functions to reduce the difference between the Cover image and Stego-image. Optimal Pixel Adjustment Process is done after inserting the message into the Cover image. In this final project result reveal that Optimization of Stego-Image Storage Capacity Using Particle Swarm Optimization Algorithm in term of peak signal to noise and capacity 59.1199 dB and 50 respectively Index Term: Steganography, Discrete Wavelet Transform, Particle Swarm Optimization, Optimal Pixel Adjustment Process.

Keywords: Steganography, differential evolution, logistic Map, discrete wavelet transform

Abstrak

Manusia telah menyembunyikan pesan rahasia dengan berbagai metode dan variasi salah satunya adalah Steganography. Steganography merupakan pengembangan dari teknik pengamanan data. Saat ini telah banyak metode untuk steganography, misalnya metode LSB, HC-RIOT *coder*, DCT, dan DWT. Kebanyakan penelitian baru-baru ini menerapkan Discrete Wavelet Transform (DWT) karena aplikasi yang luas dalam standar kompresi gambar baru, JPEG2000. Oleh karena itu pada tugas akhir akan diterapkan Discrete Wavelet Transform dan Particle Swarm Optimization pada steganography untuk mengoptimasi kapasitas penyimpanan stego-image. Algoritma Particle Swarm Optimization beserta Optimal Pixel Adjustment Process juga diterapkan untuk mendapatkan fungsi pemetaan yang optimal untuk mengurangi perbedaan antara Cover image dan Stego-image. Optimal Pixel Adjustment Process dilakukan setelah menyisipkan pesan kedalam Cover image. Hasil akhir dari optimasi kapasitas menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization 59.1199 dB untuk PSNR dan 50 % untuk capacity

Kata Kunci: Steganography, Discrete Wavelet Transform, Particle Swarm Optimization, Optimal Pixel Adjustment Process.

I. PENDAHULUAN

Manusia telah menyembunyikan pesan rahasia dengan berbagai metode dan variasi. Salah satunya adalah Steganography. Steganography merupakan ilmu yang mempelajari, meneliti, dan mengembangkan seni menyembunyikan sesuatu informasi. Steganography berasal dari bahasa Yunani yang berarti "tulisan tersembunyi". Zaman dahulu kegiatan ini sudah sering dilakukan untuk menyampaikan pesan-pesan rahasia.

Misalnya dengan cara mentatoo pesan rahasia di kulit kepala para pembawa pesan. Sebelumnya kepala si pembawa pesan digunduli dahulu, kemudian di tatoo. Setelah rambutnya tumbuh maka pesan tadi tertutup oleh rambut, kemudian si pembawa pesan dilengkapi dengan pesan palsu di tangannya sebagai umpan. Selain itu, banyak teknik lainnya seperti penulisan dengan tinta yang tidak tampak (invisible ink), titik-titik mikro (microdot), penyusunan karakter, dan banyak lagi kejadian-kejadian besar masa lalu seperti peperangan juga terukir salah satunya dengan peran serta steganography di dalamnya. Seiring dengan perkembangan jaman, metode steganography semakin lama semakin berkembang. Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan penerapkan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) dalam mengoptimasi penyisipan pesan pada citra digital berbasis Discrete Wavelet Transform. Citra digital dipilih sebagai media pembawa, karena terdapat kelemahan pada indra penglihatan atau mata manusia. Sehingga tidak mengundang kecurigaan dari persepsi pengamatan manusia. Penerapan teknik steganography pada citra digital dikatakan baik apabila media pembawa tidak mengalami penurunan kualitas. Optimal Proses Pixel Adjustment (OPAP) diterapkan setelah pesan disisipkan untuk mendapatkan fungsi pemetaan optimal dalam mengurangi perbedaan antara cover dan stego-image. Dan menggunakan frekuensi domain untuk meningkatkan ketahanan steganography.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.2 Steganography

Secara umum steganography adalah teknik untuk menyembunyikan pesan kedalam sebuah objek sehingga orang tidak menyadari keberadaan dari pesan tersebut[2]. Perbedaan utama dengan kriptografi adalah jika pada kriptografi pesannya diubah sedemikian rupa sehingga sulit untuk dimengerti, pada steganography, pesan tersebut disembunyikan sehingga sulit untuk mengetahui keberadaan pesan tersebut. Objek yang digunakan untuk menyembunyikan pesan biasa disebut dengan cover atau carrier. Cover bisa berupa gambar, file audio, file video, ataupun file-file digital lainnya yang bisa direpresentasikan dalam bentuk kode. Pesan yang disembunyikan biasa disebut dengan payload dapat berupa teks, file audio, file video, atau sebuah citra[2]. Gabungan dari cover dan payload membentuk sebuah *stego-image*. Singkatnya, bisa direpresentasikan seperti ini : cover + payload + stego key = stego-carrier [8].

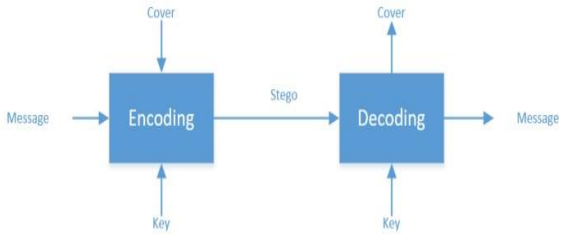

Figure 1: Proses Steganografi

2.3 Discrete Wavelet Transform dan Wavelet Haar

Transformasi wavelet adalah sebuah transformasi matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal bergerak. Sinyal bergerak ini dianalisis untuk mendapatkan informasi spektrum frekuensi dan waktunya secara bersamaan. Transformasi wavelet dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu Continue Wavelet Transform dan Discrete Wavelet Transform. Ada banyak fungsi wavelet yang bisa dipakai, salah satunya adalah wavelet Haar. Haar adalah wavelet paling tua dan paling sederhana, diperkenalkan oleh Alfred Haar pada tahun 1909. Haar telah menjadi sumber ide bagi munculnya keluarga wavelet lainnya seperti Daubechies dan sebagainya[7]

Pada DWT, sebuah sinyal harus dilewatkan pada dua filter yaitu highpass filter dan lowpass filter agar dapat dianalisis. Highpass filter digunakan untuk menganalisis frekuensi tinggi dan lowpass filter digunakan untuk menganalisis frekuensi yang rendah. Hasil dari filterisasi itu disebut dekomposisi[1]. Pada transformasi wavelet, dilakukan penyaringan data menjadi *low pass* dan *high pass*. *Low pass* merepresentasikan bagian penting data dalam resolusi rendah, sedangkan *high pass* menyatakan detail data yang ditransformasikan. Pada

JPEG, dilakukan DWT dua dimensi, yaitu DWT terhadap baris (horizontal), dan terhadap kolom (vertikal). Tahapan DWT dua dimensi menghasilkan empat buah kuadran, yaitu:

LL: sub-kelompok low dari hasil transformasi pada baris dan kolom.
HL: sub-kelompok high dari hasil transformasi baris, dan sub-kelompok low dari transformasi kolomnya.
LH: sub-kelompok low dari hasil transformasi baris, dan sub-kelompok high dari transformasi kolomnya.
HH: sub-kelompok high dari hasil transformasi baris dan kolom.

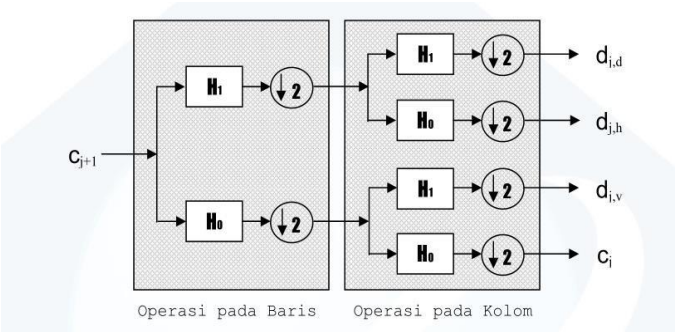

Figure 2: Proses Transformasi Wavelet Dua dimensi

2.4 Particle Swarm Optimization

Algoritma *particle swarm optimization* disingkat sebagai PSO pertama kali dikenalkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy ditahun 1995 dalam sebuah konferensi jaringan syaraf di Perth, Australia [9]. Algoritma *particle swarm optimization* merupakan teknik optimasi berbasis *stochastic* yang diinspirasi oleh tingkah laku sosial sekawanan burung atau sekumpulan ikan [10]. Algoritma *particle swarm optimization* mensimulasikan perilaku sosial sekawanan burung. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.

PSO dimulai dengan sekumpulan partikel yang dibangkitkan secara acak. Setiap partikel kemudian dievaluasi kualitasnya meggunakan fungsi *fitness*. Selanjtnya, partikel-partikel akan terbang mengikuti partikel yang optimum. Pada setiap generasi, setiap partikel di *update* mengikuti dua nilai "terbaik". Yang pertama adalah *fitness* terbaik yang dicapai oleh satu partikel saat ini. Nilai *fitness* terbaik ini dilambangkan dengan *p* dan disimpan di *memory*. Sedangkan nilai "terbaik" yang kedua adalah *fitness* yang terbaik yang dicapai oleh semua partikel dalam topologi ketetanggaan. Indeks *g* digunakan untuk menunjuk partikel dengan *fitness* terbaik tersebut. Jika kita menggunakan topologi ketetanggaan yang berupa *ring topology*, maka cara ini disebut sebagai PSO versi lokal. Tetapi, jika topologi ketetanggaan ini berupa *star topology* maka cara ini disebut PSO versi global.

Setelah menemukan dua nilai "terbaik", suatu partikel *i* pada posisi X_i meng-*update* veckor *velocity* dan kemudian meng-*update* posisinya menggunakan persamaan berikut:

$$V_{i} = V_{i} + \varphi_1 * r * (P_{i} - X_{i}) + \varphi_2 * r * (P_{g} - X_{i}) \quad (2.1)$$

$$X_{i} = X_{i} + V_{i} \quad (2.2)$$

Dimana:

i : partikel ke-i;
d : dimensi ke-d;
c_1 : *learning rates* untuk komponen *cognition* (kecerdasan individu);
c_2 : *learning rates* untuk komponen sosial (hubungan sosial antarindividu);
p : vektor nilai *fitness* terbaik yang dihasilkan sejauh ini;
g : indeks dari partikel dengan *fitness* terbaik di dalam topologi ketetanggaan; dan
r : bilangan acak dalam interval [0,1].

2.5 Hiding Capacity

Data hiding adalah seni aplikasi penyisipan berorientasi informasi, seperti penyisipan hak cipta pada sinyal frekuensi tanpa menimbulkan distorsi (kerusakan) yang terlihat. meskipund definisi data hiding menekankan imperceptibility namun tantangan utamanya adalah mengkombinasi data hiding dengan ketahanan terhadap sinyal yang tersembunyi. Hiding Capacity adalah jumlah kapasitas citra bisa menampung bit pesan yang disisipi.

2.6 Optimal Pixel Adjustment Process

Tujuan utama di gunakan OPAP adalah untuk meminimumkan error antara cover dan stego image. Misalnya nomor pixel dari cover image adalah 10000 (angka desimalnya adalah 16) dan vektor pesan untuk k=4 bit adalah 1111, maka empat angka pada pixel akan berubah menjadi 1111, sehingga angka pixel menjadi 11111 (atau 31 dalam angka desimal). Jika menggunakan algoritma OPAP bit ke 5 akan berubah dari 1 ke 0 sehingga error yang ada akan berkurang 1.

2.7 Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

Istilah *peak signal-to-noise ratio* (PSNR) adalah sebuah istilah dalam bidang teknik yang menyatakan perbandingan antara kekuatan sinyal maksimum yang mungkin dari suatu sinyal digital dengan kekuatan derau yang mempengaruhi kebenaran sinyal tersebut. Oleh karena banyak sinyal memiliki *dynamic range* yang luas, maka PSNR biasanya diekspresikan dalam skala *logarithmic decibel*. PSNR didefinisikan melalui *signal-to-noise ratio* (SNR). SNR digunakan untuk mengukur tingkat kualitas sinyal. Nilai ini dihitung berdasarkan perbandingan antara sinyal dengan nilai derau. Kualitas sinyal berbanding lurus dengan dengan nilai SNR. Semakin besar nilai SNR semakin baik kualitas sinyal yang dihasilkan. Nilai PSNR biasanya berkisar antara 20 dan 40. HVS (Human Visual System) atau sistem visual manusia tidak bisa mengenal atau membedakan citra grayscale dengan PSNR lebih dari 36 [8]. PSNR ini dilaporkan dengan ketepatan/presisi sebanyak dua desimal poin [7].

Pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai *mean squared error* (MSE) dari suatu citra hasil rekonstruksi. MSE dihitung untuk seluruh pixel dalam citra. *Root mean squared error* (RMSE) adalah akar dari MSE.

$$MSE = \frac{\sum (x_{ij} - y_{ij})^2}{M \times N} \tag{2.3}$$

M dan *N* menyatakan panjang dan lebar citra dalam *pixel*, *x* dan *y* merupakan citra hasil rekonstruksi dan citra asal. Berdasarkan persamaan MSE tersebut, maka nilai PSNR dapat dihitung dengan persamaan 2.8. Nilai PSNR direpresentasikan dalam skala desibel (dB).

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{M \times N \times 255^2}{\sum_{ij} (x_{ij} - y_{ij})^2} \tag{2.4}$$

Nilai 255 dalam rumus 2 merupakan batas atas dari sebuah nilai *pixel*.

III. RANCANGAN SISTEM

Sistem yang dibangun terbagi dalam 2 proses. Tahap pertama yaitu proses penyisipan pada cover dengan menggunakan metode LSB dan melakukan optimasi kapasitas penyimpanan dengan PSO. Tahap terakhir adalah melakukan ekstraksi pada stego-image untuk mendapatkan kembali bit-bit pesan yang sudah disisipkan.

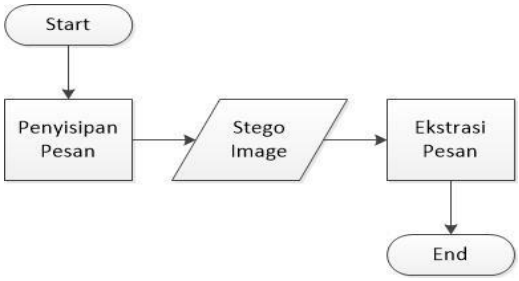

Figure 3: Alur Perancangan Sistem

3.1 Proses Penyisipan Data

Langkah-langkah berikut menjelaskan proses penyisipan pesan [8]:

1. Membagi *cover image* menjadi blok 4x4.
2. Cari representasi domain frekuensi blok oleh 2D Haar Wavelet Transform Discrete dan mendapatkan empat subbands LL1, HL1, LH1, dan HH1.
3. Menghasilkan 16 partikel yang berisi nomor *pixel* masing-masing blok sebagai fungsi pemetaan.
4. Menanamkan bit pesan dalam k-LSB DWT koefisien masing-masing *pixel* sesuai dengan fungsi pemetaan. Untuk memilih nilai k, gambar dievaluasi dari k sama dengan 3 sampai 6. k sama dengan 1 atau 2, menyediakan kapasitas bersembunyi rendah dengan visual yang tinggi kualitas *stego image* dan k sama dengan 7 atau 8, menyediakan rendah kualitas visual dibandingkan kapasitas bersembunyi tinggi.
5. Evaluasi *fitness* menggunakan algoritma PSO untuk memilih yang terbaik fungsi pemetaan.
6. Terapkan *Optimal Pixel Adjustment Process* (OPAP) pada gambar.
7. Hitung *invers* 2D-HDWT pada setiap blok 4x4.

3.2 Proses Ekstraksi Data

1. Membagi *cover image* menjadi blok 4x4.
2. Ekstrak *transform* koefisien domain dengan 2D HDWT dari setiap blok 4x4.
3. Gunakan fungsi yang didapatkan dalam fase penyisipan dan cari sekuensi *pixel* untuk ekstraksi.
4. Ekstrak k-LSB pada setiap *pixel*.

IV. HASIL DAN DISKUSI

Sistem akan diujikan menggunakan gambar yang sesuai dengan yang diujikan pada paper penelitian sebelumnya [8] yaitu lena, baboon, boat, jet, dengan ukuran 512x512 berformat JPEG (grayscale) sehingga penulis bisa membandingkan hasil penelitian yang dilakukan dengan hasil penelitian sebelumnya. Parameter - parameter dari PSO untuk semua uji sama yaitu:

1. Swarm Size = 50 (ukuran populasi)

2. C1 dan C2 = 2.05 (learning rates) [15]
3. r = 1 (bilangan random) [15]
4. iterasi= 50

4.1. Skenario Pengujian Sistem

1. Menerapkan algoritma particle swarm optimization dalam mengoptimasi kapasitas penyimpanan stego-image pada citra grayscale. Algoritma particle swarm optimization diterapkan saat teks di masukkan dan telah di ubah menjadi biner. Bilangan biner dari setiap karakter akan dimasukan kedalam setiap pixel pada citra agar jumlah pixel tidak berkurang dan tidak mempengaruhi kualitas citra dengan signifikan.
2. Mendapatkan Performasi algoritma particle swarm optimization dalam mengoptimasi kapasitas penyimpanan stego-image. Performasi algoritma particle swarm optimization dilihat dari PSNR dan hiding capacity yang dihasilkan.
3. Perbandingan PSNR hasil pengujian dengan hasil paper penelitian sebelumnya. Dilakukan dengan mengubah K-LSB dari dari 3 hingga 6. Hasil PSNR dari media yang diuji akan dibandingkan dengan PSNR yang ada didalam paper penelitian sebelumnya [8]. Citra digunakan sama dengan citra yang digunakan pada paper sebelumnya.

4.2. Analisis Data dan Hasil Pengujian

Algoritma particle swarm optimization digunakan untuk mendapatkan fungsi mapping yang optimal untuk mengurangi perbedaan error antara cover-image dan stego-image. Maka dari itu performasi algoritma particle swarm optimization dalam mengoptimasi kapasitas penyimpanan stego-Image bisa dilihat dari PSNR yang dihasilkan dari pengujian. Tabel 4.1 menunjukkan PSNR dari 4 citra yang diuji.

Table 4.1: Nilai PSNR pada Stego-Image

Cover Image	PSNR			
	K=3	K=4	K=5	K=6
Boat	65.9762	60.203	57.1764	52.9446
Jet	65.6258	56.1348	60.4716	53.045
Lena	65.1084	59.1199	58.1713	52.4165
Baboon	67.5602	61.1062	57.592	51.7635

Tabel 4.1 menunjukkan kualitas stego-image berdasarkan PSNR. HVS (Human Visual System) atau sistem visual manusia tidak bisa mengenal atau membedakan citra grayscale dengan PSNR lebih dari 36 [8]. Seperti yang ditunjukan pada tabel pada k sama dengan 3 dan 4 didapatkan nilai PSNR yang paling besar, ini menunjukkan bahwa citra dengan K sama dengan 3 dan 4 mempunyai kualitas visual yang paling tinggi. Hal ini terjadi karena bit signifikan terendah dari suatu piksel hanya berubah 3 dan 4 bit saja. Sehingga nilai piksel dan warna citra tidak berubah dengan signifikan.

Table 4.2: Hiding Capacity dari Image

Image	Capacity							
	K=3		K=4		K=5		K=6	
	Persen	Bit	Persen	Bit	Persen	Bit	Persen	Bit
Boat	15.95	57.1764	21.26	445908	26.58	557385	31.89	668862
Jet	14.75	60.4716	19.67	412524	24.59	515655	29.51	618786

Lena	15.45	58.1713	20.61	432260	24.59	540325	30.92	648390
Baboon	17.57	57.592	23.42	491188	29.28	613985	35.13	736782

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa PSNR tidak menentukan besarnya hiding capacity. Kapasitas teks yang disisipkan dapat mempengaruhi besarnya PSNR, semakin banyak teks yang disisipkan makan PSNR semakin kecil namun masih lebih besar dari batas minimum PSNR yang maunisia tidak dapat lihat perubahannya Citra dievaluasi dari k=3 hingga 6. Semakin kecil K kualitas citra semakin besar dilihat dari PSNR dan semakin kecil Hiding capacity. Sebaliknya, Jika K besar kualitas citra semakin kecil dan hiding capacity semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori semakin kecil k didapatkan kualitas citra yang besar dan hiding capacity yang rendah [2].

4.3. Analisis perbandingan PSNR hasil pengujian dengan hasil makalah penelitian sebelumnya

Perbandingan dilakukan dengan melakukan proses steganografi dengan metode DWT dan algoritma particle swarm optimization. Berikut adalah hasil dari metode yang digunakan dalam pengujian dan hasil penelitan sebelumnya berdasarkan dengan paper [8]

Table 2.3: PSNR Stego-Image pada hasil uji dan paper yang menjadi perbandingan

Image	PSNR							
	K=3		K=4		K=5		K=6	
	DWTPSO	DWTGA	DWTPSO	DWTGA	DWTPSO	DWTGA	DWTPSO	DWTGA
Boat	65.9762	48.41	60.203	40.44	57.1764	31.17	52.9446	23.60
Jet	65.6258	51.88	60.4716	45.20	56.1348	37.45	53.045	29.31
Lena	65.1084	46.83	59.1199	39.94	58.1713	32.04	52.4165	24.69
Baboon	67.5602	47.32	61.1062	40.34	57.592	32.79	51.7635	32.79

Tabel 4.3 menunjukan hasil uji lebih tinggi dibandingkan hasil paper [8]. Ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu, metode yang digunakan dalam pengujian adalah PSO sedangkan pada paper metode yang digunakan adalah GA.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Metode DWT dengan PSO berhasil diterapkan dalam mengoptimasi kapasitas penyimpanan stego-image.
2. PSO digunakan untuk mendapatkan fungsi pemetaan optimal untuk mengurangi perbedaan error antara cover image dan stego image.
3. PSO digunakan untuk mengoptimasi PSNR sedangkan OPAP digunakan untuk mengoptimasi kapasitas penyimpanan, sehingga semakin besar PSNR belum tentu semakin besar kapasitas penyimpananya
4. Metode yang dipaparkan lebih bagus dibanding metode yang dipaparkan pada makalah penelitian sebelumnya[8] dilihat dari segi PSNR.

5.2. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengganti parameterparameter PSO untuk hasil yang lebih baik.

2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengganti parameterparameter PSO untuk hasil yang lebih baik.
3. Mengganti data yang disisipkan dengan media lain selain teks.
4. Mengganti metode penelitian dengan algoritma yang lain

REFERENSI

[1] H. Inoue, A. Miyazaki, T. Katsura, "An Image Watermarking Method Based On the Wavelet Transform." Vol. 1, pp. 296-300. Aug 2002.

[2] N. Provos, P. Honeyman, "Hide and Seek: an introduction to steganography," IEEE Computer Society, pp. 32-44, May-June 2003.

[3] N. Provos, "Defending against statistical steganalysis," In Proc. Of10 th Usenix Security Symp, Usenix Assoc, pp. 323-335, 2001.

[4] Polikar, Robi (1998). Multi Resolution Analysis: The Discrete Wavelet Transform. Durham Computation Center, Iowa State.

[5] Sripathi, Deepika (2003). Efficient Implementations of Discrete Wavelet Transform using FPGAs. Florida State University.

[6] J. Kennedy and R. C. Eberhart. Particle swarm optimization. In Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks. IEEE Service Center, Piscataway, 1995

[7] Hendrawan, Shanty Meliani (2003). Robust and Non Blind Watermarking pada Citra Dijital dengan Teknik Spread Spectrum. Institut Teknologi Bandung.

[8] G. Elham, S. Jamshid, F. Nima (2011), "High Capacity Image Steganography using Wavelet Transform and Genetic Algorithm". Islamic Azad University. 28 DAFTAR PUSTAKA 29

[9] Hasan, Rania. 2004. Particle Swarm Optimization: Method and Application. Engineering Systems Division - Massachusetts Institute of Technology.

[10] http://www.swarmintelligence.org/tutorials.php diakses pada Kamis, 5 November 2015 pukul 22.58

[11] Suyanto. Algoritma Optimasi: Deterministik atau Probabilistik. Edisi Pertama, Graha Ilmu, 2010

[12] Xin-She Yang, "Nature-Inspired Optimization Algorithms", Elsevier, March 2014.

[13] Swarnkar, K.K.; Wadhwani, S.; Wadhwani, A.K., "Optimal Power Flow of large distribution system solution for Combined Economic Emission Dispatch Problem using Partical Swarm Optimization", International Conference on Power Systems, 2009. ICPS '09., vol., no., pp.1,5, 27-29 Dec. 2009.

[14] Ben Attous, D.; Labbi, Y., "Particle swarm optimization based optimal power flow for units with non-smooth fuel cost functions," International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 2009., vol., no., pp.I-377, I-381, 5-8 Nov. 2009.

[15] Bai Qinghai, "Analysis of Particle Swarm Optimization Algorithm" College of Computer Science and Technology Inner Mongolia University for Nationalities Tongliao 028043 China, 2010.