Makalah Tugas Akhir

PENYEMBUNYIAN DATA RAHASIA PADA CITRA DIGITAL BERBASIS *CHAOS* DAN *DISCRETE COSINE TRANSFORM*

Anton Prabowo[1], Achmad Hidayatno, S.T., M.T.[2], Yuli Christiyono, S.T., M.T.[2]
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro Semarang

ABSTRACT

Steganography is one of technique that developed to keep the security of data by hidding or embedding it in other data media so that it's content or even it's existence is not notice. Many steganography methode have been developed in the last few years, but it still needed a steganography system with highest capacity and robustness.

By combining and modifying few technic, in this Final Project has made a steganography system that used to embedding and extracting secret data in image data form (BMP 8 bit grayscale and 24 bit color), voice data form (WAV PCM 11.025 KHz 8 bit mono), and text data form (TXT) into cover data in image data form (BMP 8 bit grayscale). Data hidding was done at frequency domain by applying DCT (Discrete Cosine Transform) and chaos theory was applied using logistic map equation. Program was made using Borland Delphi 7 programming language. By using subjectif quality, RMS (Root Mean Square) metrics, and similarity ratio measurement parameter, program performance was observed by doing research consist of: research of initialitation parameter change influences; research of embedding and extracting secret digital data in image, voice, and text form into cover digital data in image form; research of program realibility from data manipulation operation including brigthness modification, contrast modification, resizing, cropping, and JPEG compression.

***Keywords** : steganography, discrete cosine transform, chaos theory, logistic map, root mean square.*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Steganografi adalah suatu teknik penyembunyian data rahasia ke dalam media data lain sehingga keberadaan data rahasia tidak diketahui atau disadari oleh orang lain. Dalam merancang suatu sistem steganografi, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan seperti faktor *impercepbility*, *fidelity*, *capacity*, *robustness*, *recovery*, dan *undetecability*. Suatu sistem steganografi akan dianggap memiliki kinerja yang sangat baik jika dapat memenuhi semua faktor tersebut dengan tingkat atau level yang tinggi. Akan tetapi dalam implementasinya hal tersebut akan sulit diwujudkan karena beberapa faktor tersebut memiliki sifat berkompetisi (*trade-off factor*) satu sama lain. Saat salah satu faktor ditingkatkan maka faktor yang lain akan mengalami penurunan, sehingga suatu sistem steganografi akan memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Beberapa metode steganografi sudah banyak dipublikasikan dalam beberapa tahun terakhir ini mulai dari yang paling sederhana sampai yang sangat rumit dengan menggunakan gabungan berbagai persamaan matematika. Metode yang paling sederhana adalah teknik penyisipan *Least Significant Bit* (LSB) yang bekerja pada ranah spasial (Johnson and Jajodia,1998). Teknik dalam ranah frekuensi memanfaatkan DCT yang diusulkan oleh Barni et al (1998) yang menggunakan teknik seperti dalam algoritma JPEG (Wallace, 1991). Kemudian teknik yang diusulkan oleh Zhao et al (2004) yang menggunakan ranah *wavelet* dan memanfaatkan sistem *chaos* yang disebut "*logistic map*". Dengan menggabungkan dan memodifikasi beberapa teknik yang telah dikembangkan saat ini, diharapkan didapatkan suatu sistem steganografi yang memiliki kapasitas penyimpanan yang besar dan ketahanan yang tinggi.

1.2 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah menerapkan *discrete cosine transform* dan *chaos theory* untuk membuat suatu sistem berbasis pengolahan citra yang dapat digunakan untuk melakukan steganografi data rahasia digital (citra, teks, atau suara) pada media penampung citra digital, serta untuk mengetahui kinerja program tersebut dan keandalannya terhadap berbagai operasi manipulasi data.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan Tugas Akhir ini pembahasan masalah dibatasi pada:

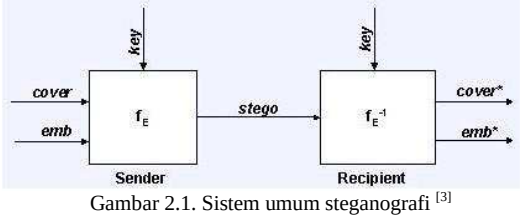
1. Program dibuat menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 7.
2. Data digital yang digunakan adalah sebagai berikut :
   - Citra digital dengan format *bitmap* (*.BMP) 8 bit aras keabuan (*grayscale*) dan 24 bit citra berwarna (*color*).
   - Teks digital dengan format *text document* (*.TXT).
   - Suara digital dengan format *wave* (*.WAV) PCM 11.025 KHz 8 bit *mono*.
3. Operasi manipulasi data yang dilakukan adalah operasi pengubahan kecerahan, pengubahan kontras, pengubahan ukuran, pemotongan, dan kompresi JPEG.

II DASAR TEORI

2.1 Steganografi

Steganografi merupakan teknik penyembunyikan pesan rahasia ke dalam pesan lainnya sebagai wadah (media) sedemikian rupa sehingga keberadaaan pesan rahasia tersebut tidak diketahui atau disadari keberadaannya oleh orang lain. Steganografi membutuhkan dua properti: pesan sebagai wadah penampung dan pesan rahasia yang akan disembunyikan. Steganografi digital menggunakan media digital baik sebagai wadah penampung maupun data rahasia, misalnya citra, suara (audio), teks, dan video.[1]

Steganografi konvensional biasanya merupakan usaha untuk merahasiakan komunikasi dengan cara menyembunyikan pesan ataupun menyamarkan pesan. Sehingga prinsip dasar dalam steganografi adalah lebih dikonsentrasikan pada kerahasiaan pesannya bukan pada data medianya (Johnson,1995)[2]. Secara umum sistem steganografi ditunjukkan seperti dalam gambar berikut.

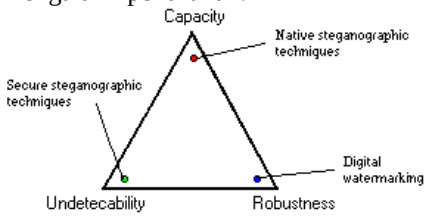


Gambar 2.1. Sistem umum steganografi [3]

Ada beberapa kriteria yang harus diperhatikan dalam melakukan proses steganografi, yaitu :

- *Impercepbility*, keberadaan data rahasia tidak dapat dipersepsi oleh indera manusia. Citra *stego* harus tidak dapat dibedakan dengan citra *cover*.
- *Fidelity*, kualitas data penampung tidak banyak berubah setelah dilakukan penyisipan.
- *Recovery*, data rahasia yang disembunyikan harus dapat diungkap kembali
- *Capacity*, berhubungan dengan jumlah informasi yang dapat disisipkan ke dalam data penampung.
- *Robustness*, data yang disembunyikan harus tahan dari berbagai operasi manipulasi yang dilakukan pada data penampung.
- *Undetecability*, kemampuan untuk menghindari deteksi baik oleh indera manusia maupun analisis statik.

Dalam melakukan proses steganografi, ada beberapa faktor yang saling berkompetensi satu sama lain (*trade-off*), artinya saat salah satu faktor ditingkatkan maka kemungkinan faktor lain akan mengalami penurunan.



Gambar 2.2. Faktor yang saling berkompetensi[4]

Suatu teknik steganografi yang dapat menyembunyikan data dalam jumlah yang besar seringkali akan lebih banyak mengubah kualitas atau detail *cover*, dengan kata lain peningkatan kapasitas akan mengorbankan faktor *undetecability*. Peningkatan kekokohan (*robustness*) pada beberapa teknik steganografi juga dapat mengurangi faktor *capacity*. Oleh karena itu keseimbangan dari berbagai faktor tersebut akan menentukan kinerja dari sistem.

Dalam melakukan steganografi dengan menggunakan data citra sebagai penampumg, ada beberapa teknik yang sudah dikembangkan, antara lain :

- *Domain spatial technique*

Teknik ini bekerja dengan menyembunyikan informasi pada domain spasial dari suatu citra. Istilah domain spasial sendiri mengacu pada piksel-piksel penyusun suatu citra. Teknik ini juga dikenal sebagai teknik subtitusi. Salah satu metode yang terkenal dalam teknik ini adalah metode *least significant bit*.

- *Transform domain technique*

Teknik ini memfokuskan penyisipan data rahasia ke dalam domain frekuensi. Informasi disembunyikan pada koefisien-koefisien frekuensi hasil transformasi data *cover*. Ada beberapa transformasi yang telah dikembangkan dalam steganografi, di antaranya adalah :

- *Discrete Cosine Transform*
- *Fourier Transform*
- *Wavelet Transform*

2.2 *Discrete Cosine Transform* (DCT)

Untuk komponen frekuensi ruang pada citra, penglihatan manusia relatif kurang peka terhadap frekuensi tinggi dibandingkan dengan frekuensi rendah. Jadi dimungkinkan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan komponen frekuensi tinggi yang tak dapat dideteksi mata tersebut tanpa mengurangi kualitas citra. Transformasi matriks dua dimensi dari nilai piksel menjadi matriks komponen frekuensi spasial dapat dilakukan dengan menggunakan teknik matematika yang disebut dengan *Discrete Cosine Transform* (DCT). Dengan kata lain DCT adalah sebuah transformasi yang digunakan untuk mengubah sebuah sinyal diskrit dari bidang waktu (*time domain*) ke dalam bidang frekuensi (*frequency domain*).

Suatu matriks dua dimensi *S(x,y)* dimana $x = 0, 1, ..., n - 1$ dan $y = 0, 1, ..., m - 1$ dapat ditransformasikan ke dalam ranah frekuensi dengan menggunakan persamaan *Discrete Cosine Transform* (DCT) berikut.

$$S(u,v) = C(u)C(v)\sum_{x=0}^{n-1}\sum_{y=0}^{m-1} S(x,y)\cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2n}\right]\cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2m}\right] \quad (1)$$

dengan $u = 0, 1, ..., n - 1$ dan $v = 0, 1, ..., m - 1$

$$C(u) = C(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{n}} & untuk \quad u = v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{n}} & untuk \quad lainnya \end{cases}$$

Sedangkan untuk transformasi baliknya dapat diperoleh dengan persamaan *Inverse Discrete Cosine Transform* (IDCT) berikut.

$$S(x,y) = \sum_{u=0}^{n-1}\sum_{v=0}^{m-1} S(u,v)C(u)C(v)\cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2n}\right]\cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2m}\right] \quad (2)$$

dengan $x = 0, 1, ..., n - 1$ dan $y = 0, 1, ..., m - 1$

$$C(u) = C(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{n}} & untuk \quad u = v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{n}} & untuk \quad lainnya \end{cases}$$

2.3 *Chaos Theory*

Teori c*haos* adalah teori yang menjelaskan gerakan atau dinamika yang kompleks dan tak terduga dari sebuah sistem. Dalam ilmu matematika, *chaos* digunakan untuk menjelaskan suatu sistem yang memiliki kepekaan yang sangat tinggi terhadap perubahan kecil nilai kondisi awal (*highly sensitive on initial condition*).

Kepekaan ini berarti bahwa perbedaan kecil pada nilai awal fungsi, setelah fungsi diiterasi beberapa kali, akan menghasilkan perbedaan yang sangat besar pada nilai fungsinya. Dengan demikian akan sulit untuk memprediksi kelakuan sistem jika tidak diketahui nilai kondisi awalnya dengan tepat dan presisi. Dengan kepekaan tersebut, sistem akan memiliki ketidakteraturan yang sangat tinggi sehingga akan cenderung "terlihat" mendekati sifat acak, walaupun sebenarnya sistem tersebut deterministik. Para ilmuwan menyebut kelakuan sistem yang semacam ini sebagai *chaos*. Dengan karakteristik yang dimilikinya, *chaos* dapat digunakan sebagai pembangkit bilangan acak.

Salah satu fungsi sederhana yang memunculkan sifat *chaos* adalah persamaan logistik (*logistic map*) berikut.

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n) \quad (3)$$

dengan x_0 sebagai nilai kondisi awal. Daerah asal *x* adalah dari 0 sampai 1. Konstanta *r* menyatakan laju pertumbuhan fungsi, yang dalam hal ini $0 \le r \le 4$.

2.4 Parameter Pengukuran kinerja

2.4.1 Pengukuran Subjektif

Pengukuran subjektif dilakukan dengan menggunakan indera manusia. Dalam pengukuran subjektif digunakan 5 skala kualitas, yaitu baik, agak baik, sedang, agak buruk dan buruk. Skala baik digunakan jika data hasil terasa (terlihat atau terdengar) persis sama dengan data awal, sedangkan skala buruk digunakan jika informasi yang dikandung data hasil sudah tidak dapat dikenali atau diartikan lagi saat dibandingkan dengan data awal.

2.4.2 Metrik *Root Mean Square* (RMS)

Metrik RMS memiliki persamaan umum sebagai berikut.

$$d_{RMS}(\theta_1, \theta_2) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1}(X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (4)$$

Dimana $\theta_1 = [X_0, X_1, ..., X_{N-1}]$ dan $\theta_2 = [Y_0, Y_1, ..., Y_{N-1}]$

Jika persamaan tersebut diterapkan untuk membandingkan antara dua citra dengan Z dan Z' adalah intensitas piksel dari dua citra tersebut, maka persamaan di atas akan menjadi berikut.

$$d_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{w-1}\sum_{j=0}^{h-1}(Z_{ij}^{'} - Z_{ij}^{'})^2}{wh}} \quad (5)$$

2.4.3 Rasio Kemiripan

Rasio kemiripan dapat digunakan untuk mengukur persentase kemiripan antara dua data yang dibandingkan. Nilai rasio kemiripan didapatkan dari nilai RMS yang terukur dibandingkan terhadap nilai RMS maksimal. Untuk mengukur rasio kemiripan digunakan persamaan berikut.

$$Rasio = 100\% - \left(\frac{d_{RMS}}{255} x100\%\right) \quad (6)$$

III. PERANCANGAN SISTEM

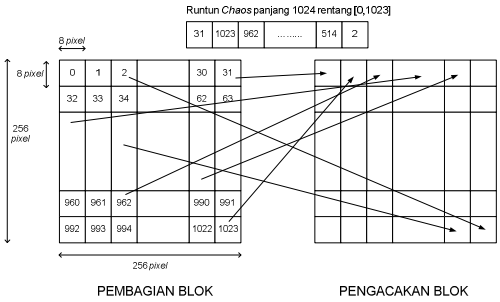
Program dibuat menjadi 2 bagian utama, yaitu bagian *Encoder* dan bagian *Decoder*. Bagian *Encoder* digunakan untuk melakukan proses penyembunyian atau penyisipan data rahasia ke dalam data penampung, sedangkan bagian *Decoder* digunakan untuk melakukan proses pengambilan atau pengungkapan data rahasia yang tersembunyi atau tersisip di dalam data penampung.

Jenis steganografi yang diterapkan adalah *blind-image steganography*, yaitu suatu sistem steganografi yang tidak memerlukan citra penampung asli untuk mengambil data rahasia yang disembunyikan. Akan tetapi konsekuensinya diperlukan 2 bentuk kata kunci untuk mengambil data rahasia tersebut, yaitu kata kunci *privat* dan kata kunci *public*. Kata kunci *privat* bersifat rahasia dan nilainya ditentukan oleh pihak pengirim (*sender*), sedangkan kata kunci *public* dibangkitkan oleh program. Meskipun tidak terlalu bersifat rahasia, akan tetapi kata kunci *public* tetap dibutuhkan untuk mengambil data rahasia dengan benar.

3.1 Algoritma Penyisipan Data (bagian *Encoder*)

Secara umum penyisipan data (bagian *Encoder*) dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

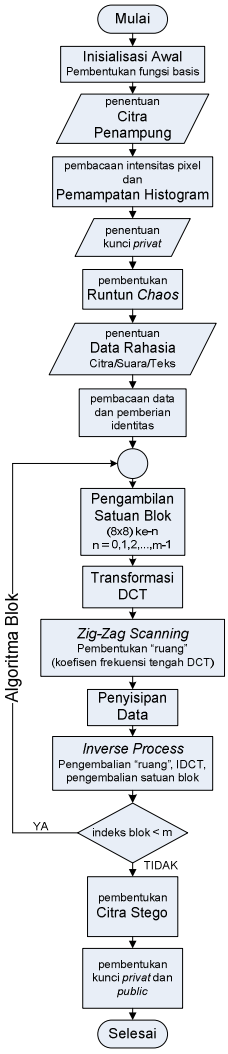
1. Simpan nilai intensitas setiap piksel citra penampung dalam runtun *Ki(x,y)* berukuran *w* × *h*, kemudian lakukan proses penyempitan histogram menggunakan operasi pengubahan kontras dengan persamaan :
$$Ko = G(Ki - P) + P \qquad (7)$$
dimana *G* adalah koefisien penyempitan dan *P* adalah nilai titik pusat penyempitan.
2. Bagi runtun citra penampung menjadi sejumlah blok-blok kecil berukuran 8 × 8 yang tidak saling beririsan. Misalkan *Ki* berukuran 256 × 256 maka akan terbentuk blok sejumlah $N = 1024$. Kemudian beri label atau indeks blok-blok tersebut dari 0 sampai $N - 1$.
3. Bangkitkan runtun *chaos* menggunakan *logistic map* dengan nilai awal x_0 dan laju fungsi $r = 4$, kalikan setiap elemen *chaos* dengan $N - 1$ (misalnya 1023) hingga didapatkan sejumlah N elemen *chaos* yang memunculkan semua angka dalam rentang $[0, N - 1]$. Nilai awal x_0 ditentukan oleh pengirim (*sender*) dan dapat disebut dengan kata kunci *privat*.
4. Lakukan pengacakan lokasi blok-blok citra penampung dengan urutan pengacakan sesuai dengan nilai pada setiap elemen runtun *chaos* yang telah dibangkitkan.



Gambar 3.1. Pembagian blok dan pengacakan blok citra penampung berukuran 256 × 256

5. Untuk setiap satu blok citra penampung, ubah ke dalam ranah frekuensi menggunakan transformasi DCT-2D 8 × 8. Kemudian lakukan pembacaan koefisien dengan pemindaian secara *zig-zag* dan ambil koefisien frekuensi tengah DCT mulai dari indeks ke-(*s*) hingga indeks ke-(*s*+*n*). *s* adalah jumlah koefisien yang dilompati dan *n* adalah rentang frekuensi tengah yang digunakan.
6. Siapkan data rahasia yang akan digunakan baik data citra, data suara maupun data teks dalam bentuk runtun satu dimensi *Rd(j)*. Lakukan pembentukan kata kunci *public* dari ukuran dan format data rahasia yang digunakan. Kemudian sisipkan setiap elemen runtun data rahasia pada setiap koefisien frekuensi tengah DCT secara merata pada semua blok citra penampung dengan persamaan :
$$Sr[i] = \alpha\{Rd[j]\} \qquad (8)$$
dimana α adalah nilai faktor kekuatan yang digunakan.
7. Lakukan transformasi balik IDCT (*Inverse Discrete Cosine Transform*) untuk setiap blok citra penampung dan kemudian tempatkan kembali blok-blok citra penampung pada tempat atau lokasi semula sebelum dilakukan pengacakan blok sehingga didapatkan kembali bentuk yang hampir sama dengan citra penampung semula.

Semua langkah di atas kemudian diimplementasikan pada bahasa pemrograman menjadi algoritma lengkap seperti yang dijelaskan dalam diagram alir berikut.



Gambar 3.2. Diagram alir algoritma bagian *Encoder*

3.2 Algoritma Pengungkapan Data (bagian *Decoder*)

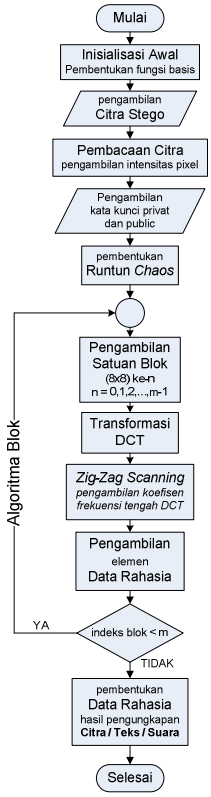
Secara umum langkah-langkah yang dilakukan pada di bagian *Decoder* terutama di langkah-langkah awal hampir sama dengan yang dilakukan pada bagian *Encoder*.

1. Lakukan seperti langkah ke-1 hingga langkah ke-5 pada bagian *Encoder* namun tanpa melakukan proses penyempitan histogram (langkah ke-1). Kemudian untuk nilai awal *Xo* (langkah ke-3) diambil dari kata kunci *privat* yang di-*input*-kan oleh pihak penerima (*receiver*).
2. Lakukan pengambilan setiap elemen runtun data rahasia yang telah disisipkan pada setiap koefisien frekuensi tengah DCT menggunakan persamaan:

$$Rd[j] = \left| \frac{Sr[i]}{\alpha} \right| \qquad (9)$$

Kemudian ubah runtun data rahasia menjadi bentuk data rahasia semula (citra, suara, atau teks) berdasarkan dari kata kunci *public* yang ada.

Semua langkah di atas kemudian diimplementasikan pada bahasa pemrograman menjadi algoritma lengkap seperti yang dijelaskan dalam diagram alir berikut.



Gambar 3.3. Diagram alir algoritma bagian *Decoder*

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

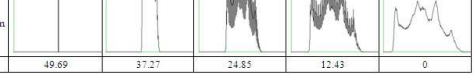
4.1 Pengujian Pengaruh Perubahan Parameter-Parameter Inisialisasi

Nilai-nilai parameter ini akan menentukan kinerja dari program sehingga harus dicari nilai yang tepat.

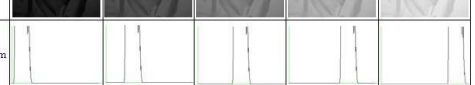
4.1.1 Parameter Penyempitan Histogram

Parameter yang harus ditentukan adalah besarnya koefisisen penyempitan (G) dan nilai pusat penyempitan (P).

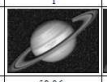
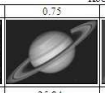
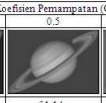
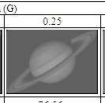
Tabel 4.1. Hasil pengujian dengan $P = 128$ dan $0 \le G \le 1$

Hasil Pengujian	Koefisien Pemampatan (G)				
	0	0.25	0.5	0.75	1
Citra Hasil					
Histogram					
RMS	49.69	37.27	24.85	12.43	0

Tabel 4.2. Hasil pengujian dengan $G = 0.25$ dan $0 \le P \le 255$

Hasil Pengujian	Pusat Pemampatan (P)				
	0	64	128	192	225
Citra Hasil					
Histogram					
RMS	91.46	50.73	37.27	69.38	112.62

Tabel 4.3. Hasil pengujian dengan $P = 128$ dan $0 \le G \le 1$

Hasil Pengujian	Koefisien Pemampatan (G)				
	1	0.75	0.5	0.25	0
Citra *Stego*					
RMS	58.96	25.84	51.14	76.56	102.03
Citra Ungkap					
RMS	73.002	9.61	9.76	9.91	9.76

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa koefisien penyempitan berpengaruh terhadap lebar histogram dan nilai pusat penyempitan berpengaruh terhadap kontras citra. Proses penyempitan histogram dengan koefisien dan nilai pusat tertentu dapat meningkatkan kualitas data rahasia hasil pengungkapan (*Decoder*).

Dalam program ini digunakan koefisien $G = 0.75$ dan nilai pusat $P = 128$.

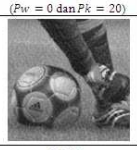
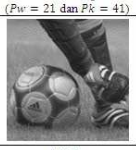
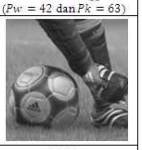
4.1.2 Parameter Penyisipan Data

Parameter yang harus ditentukan adalah besarnya besarnya faktor kekuatan (α) dan posisi penyisipan data.

Tabel 4.4. Hasil pengujian dengan $0 \le \alpha \le 1$

Hasil Pengujian	Faktor Kekuatan (α)				
	0.01	0.05	0.1	0.5	1
Citra *Stego*					
RMS	10.77	10.99	12.11	36.16	65.74
Citra Ungkap					
RMS	29.7	5.78	2.89	43.25	86.57

Tabel 4.5. Hasil pengujian dengan variasi posisi penyisipan

Hasil Pengujian	Posisi Penyisipan Data		
	Frekuensi rendah ($Pw = 0$ dan $Pk = 20$)	Frekuensi tengah ($Pw = 21$ dan $Pk = 41$)	Frekuensi tinggi ($Pw = 42$ dan $Pk = 63$)
Citra *Stego*			
RMS	17.68	16.76	16.84
Citra Ungkap			
RMS	7.46	2.84	2.86

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa faktor kekuatan berpengaruh terhadap keseimbangan antara faktor *fidelity* dan *recovery*. Sedangkan posisi penyisipan data berpengaruh terhadap faktor *fidelity*.

Dalam menentukan parameter penyisipan data, harus memperhatikan semua *trade-off factor* dan nilainya tergantung dari keseimbangan faktor yang ingin dicapai. Dalam program ini digunakan $\alpha = 0.01$ dan posisi penyisipan data pada indeks ke-21 sampai ke-48.

4.2 Pengujian Penyembunyian dan Pengungkapan Data

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan program dalam melakukan penyembunyian dan pengungkapan data baik berupa data citra, data suara,maupun data teks.

Tabel 4.6. Hasil pengujian menggunakan data citra digital

No.	Pengujian		Hasil Pengujian					
			Citra Stego			Citra Pengungkapan		
	Penampung	Data Rahasia	RMS	Rasio	Kualitas	RMS	Rasio	Kualitas
1	*lenna.bmp* (512x512) 257 KB	*rs232.bmp* (336x336) 111 KB	15.47	93.93	Baik	2.89	98.86	Baik
2	*saturn.bmp* (671x470) 309 KB	*camera.bmp* (256x256) 65 KB	26.12	89.75	Agak baik	3.06	98.8	Baik
3	*keluarga.bmp* (1944x2592) 4.8 MB	*aku.bmp color* (857x857) 2.1 MB	19.33	92.42	Baik	3.09	98.79	Baik
4	*ipung.bmp* (512x512) 4.8 MB	*blueprint.bmp color* (857x801) 1.96 MB	13.43	94.75	Baik	4.27	98.33	Baik
5	*barbara.bmp* (512x512) 257 KB	*camera.bmp* (256x256) 65 KB	15.03	94.12	Baik	2.9	98.86	Baik
6	*turtle.bmp* (975x975) 930 KB	*tulip.bmp color* (369x369) 399 KB	28.52	88.81	Agak baik	3.17	98.76	Baik
7	*demo.bmp* (1740x1740) 2.88 MB	*motor.bmp color* (384x384) 432 KB	16.88	93.38	Baik	44.01	82.74	Agak buruk
8	*child.bmp* (671x470) 309 KB	*friend.bmp* (512x512) 257 KB	19.76	92.25	Baik	8.12	96.82	Baik
9	*rs232.bmp* (336x336) 111 KB	*wajah.bmp* (216x216) 47 KB	23.66	90.72	Baik	9.37	96.33	Agak baik
10	*trees.bmp* (671x470) 309 KB	*wajah.bmp* (216x216) 47 KB	23.63	90.73	Baik	2.89	98.87	Baik
11	*baboon.bmp* (671x470) 309 KB	*girl.bmp* (256x256) 65 KB	12.58	95.07	Baik	52.72	79.32	Agak buruk
12	*circuit.bmp* (671x470) 309 KB	*camera.bmp* (256x256) 65 KB	19.66	92.29	Baik	3.2	98.74	Baik
13	*sine wave.bmp* (671x470) 309 KB	*friend.bmp* (256x257) 66 KB	17.23	93.24	Baik	8.64	96.61	Baik
14	*demo.bmp* (512x512) 2,88 MB	*turtle.bmp* (975x975) 930 KB	20.1	92.12	Baik	73.31	71.25	Sedang
15	*ipung.bmp* (512x512) 4.8 MB	*sahabat.bmp color* (512x512) 768 KB	13.62	94.66	Baik	5.66	97.78	Baik
16	*saturn.bmp* (671x470) 309 KB	*friend.bmp* (256x257) 66 KB	25.88	89.85	Agak baik	7.45	97.08	Baik
Rata-rata			19.43	92.35		14.67	94.25	

Tabel 4.7. Hasil pengujian menggunakan data suara digital

No.	Pengujian		Hasil Pengujian					
			Citra Stego			Suara Pengungkapan		
	Penampung	Data Rahasia	RMS	Rasio	Kualitas	RMS	Rasio	Kualitas
1	*keluarga.bmp* (1944x2592) 4.8 MB	*phoenix_1901.wav* (2min 53sec) 1.82 MB	19.57	92.33	Baik	3.1	98.78	Agak baik
2	*barbara.bmp* (512x512) 257 KB	*band.wav* (6.99sec) 1.82 MB	15.21	94.04	Baik	2.89	98.87	Agak baik
3	*saturn.bmp* (671x470) 309 KB	*berkata.wav* (3.6sec) 1.82 MB	25.99	89.81	Agak baik	73.09	71.34	Agak buruk
4	*ipung.bmp* (512x512) 4.8 MB	*into the silent_frock.wav* (3min) 1.82 MB	14.9	94.16	Baik	2.95	98.85	Agak baik
5	*demo.bmp* (512x512) 2,88 MB	*hapus aku_nidji.wav* (1min 58sec) 1.82 MB	17.97	92.95	Baik	3.02	98.82	Agak baik
6	*baboon.bmp* (671x470) 309 KB	*wompaud7.wav* (10.9sec) 1.82 MB	12.56	95.08	Baik	14.91	94.15	Agak baik
7	*child.bmp* (671x470) 309 KB	*bernyanyi.wav* (9.9sec) 1.82 MB	20.49	91.67	Baik	35.17	86.21	Agak baik
8	*trees.bmp* (671x470) 309 KB	*boombox.wav* (3.4sec) 1.82 MB	23.64	90.73	Baik	10.66	95.82	Agak baik
9	*circuit.bmp* (671x470) 309 KB	*windows xp startup.wav* (4.8sec) 1.82 MB	19.45	92.37	Baik	2.89	98.87	Agak baik
Rata-rata			18.87	92.57		16.52	93.52	

Tabel 4.8. Hasil pengujian menggunakan data teks digital

No.	Pengujian		Hasil Pengujian					
			Citra Stego			Suara Pengungkapan		
	Penampung	Data Rahasia	RMS	Rasio	Kualitas	RMS	Rasio	Kualitas
1	*keluarga.bmp* (1944x2592) 4.8 MB	*license readme.txt* 247 KB	18.38	92.79	Baik	4.18	98.36	Buruk
2	*barbara.bmp* (512x512) 257 KB	*cooleditpro.txt* 19 KB	12.74	95.006	Baik	4.08	98.39	Buruk
3	*saturn.bmp* (671x470) 309 KB	*log.txt* 42 KB	26.06	89.78	Agak baik	2.9	98.86	Buruk
4	*ipung.bmp* (512x512) 4.8 MB	*user manual.txt* 77 KB	13.15	94.85	Baik	8.47	96.68	Buruk
5	*demo.bmp* (512x512) 2,88 MB	*license.txt* 41 KB	16.23	93.64	Baik	7.51	97.05	Buruk
6	*baboon.bmp* (671x470) 309 KB	*GPL_license.txt* 18 KB	10.72	95.79	Baik	4.13	98.38	Buruk
7	*child.bmp* (671x470) 309 KB	*readme.txt* 17 KB	19.72	92.27	Baik	4.05	98.4	Buruk
8	*trees.bmp* (671x470) 309 KB	*readme_1st.txt* 12 KB	23.69	90.71	Baik	4.08	98.4	Buruk
9	*circuit.bmp* (671x470) 309 KB	*install.txt* 15 KB	19.23	92.46	Baik	4.05	98.41	Buruk
Rata-rata			17.77	93.03		4.83	98.1	

Dari hasil pengujian didapatkan program cukup baik digunakan untuk menyembunyikan data yang berupa citra digital dan suara digital. Meskipun pada beberapa pengujian *fidelity*-nya kurang baik, akan tetapi rasio kemiripan yang dihasilkan rata-rata mencapai lebih dari 92%. Program memiliki kinerja yang sangat buruk jika digunakan untuk menyembunyikan data yang berupa teks digital.

4.3 Pengujian Kekokohan Terhadap Operasi Manipulasi Data

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat *robustness* dari citra *stego* yang dihasilkan program.terhadap operasi manipulasi data yang meliputi operasi pengubahan kecerahan (*brightness*), pengubahan kontras (*contrast*),

pengubahan ukuran (*resizing*), pemotongan (*cropping*), dan kompresi JPEG.

Tabel 4.9. Hasil pengujian pengubahan kecerahan

No.	Pengujian		Data Hasil Pengungkapan									
			Brightness (%)									
			-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
			.....RMS										
			.....Rasio										
			.....Kualitas										
1	*lenna.bmp*	*rs232.bmp*	119.8	82.39	37.57	4.47	3.31	2.89	4.03	7.5	40.99	82.69	132.83
			53.02	67.69	85.27	98.25	98.7	98.86	98.42	97.06	83.93	67.58	47.91
			Buruk	Agak buruk	Sedang	Baik	Baik	Baik	Baik	Agak baik	Sedang	Agak buruk	Buruk
2	*keluarga.bmp*	*aku.bmp*	77.07	64.77	49.34	18.46	4.67	3.09	6.07	33.79	43.08	50.78	61.56
			69.78	74.6	80.65	92.76	98.17	98.79	97.62	86.75	83.11	80.09	75.86
			Agak buruk	Agak buruk	Sedang	Agak baik	Baik	Baik	Baik	Agak baik	Sedang	Agak buruk	Agak buruk
3	*trees.bmp*	*wajah.bmp*	92.59	86.39	77.98	62.12	4.62	2.89	4.06	42.14	58.83	60.76	67.41
			63.69	66.12	69.42	75.64	98.19	98.87	98.41	83.48	79.29	76.18	73.57
			Buruk	Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk	Baik	Baik	Baik	Agak baik	Sedang	Sedang	Agak buruk
4	*barbara.bmp*	*band.wav*	93.75	68.17	44.15	8.07	3.45	2.89	3.82	3.11	19.52	44.06	73.27
			63.24	73.27	82.69	96.84	98.65	98.87	98.5	98.78	92.35	82.72	71.27
			Buruk	Buruk	Buruk	Sedang	Agak baik	Agak baik	Agak baik	Agak baik	Agak buruk	Buruk	Buruk
5	*ipung.bmp*	*into the silent j'rock.wav*	89.26	68.64	41.42	18.32	2.09	2.95	2.76	10.43	39.7	59.83	90.11
			64.99	73.08	83.76	92.82	99.18	98.85	98.92	95.91	84.43	76.54	64.67
			Buruk	Buruk	Buruk	Agak buruk	Agak baik	Agak baik	Agak baik	Sedang	Buruk	Buruk	Buruk
6	*saturn.bmp*	*berkata 15db.wav*	113.17	107.34	102.32	99.29	3.54	16.14	1.7	16.01	29.87	43.24	55.51
			55.62	57.91	59.88	61.06	98.61	93.67	99.33	93.72	88.29	83.05	78.23
			Buruk	Buruk	Buruk	Buruk	Agak baik	Agak baik	Agak baik	Agak buruk	Buruk	Buruk	Buruk

Tabel 4.11. Hasil pengujian pengubahan kontras

No.	Pengujian		Data Hasil Pengungkapan									
			Contrast									
			-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
			.....RMS										
			.....Rasio										
			.....Kualitas										
1	*lenna.bmp*	*rs232.bmp*	119.8	72.14	54.33	36.46	21.76	2.89	18.39	105.59	153.87	152.09	143.89
			53.02	71.71	78.69	85.7	91.47	98.87	92.79	58.59	39.66	40.36	43.57
			Buruk	Sedang	Agak baik	Agak baik	Agak baik	Baik	Baik	Agak buruk	Buruk	Buruk	Buruk
2	*keluarga.bmp*	*aku.bmp*	41.69	33.52	25.91	18.84	10.09	3.09	19.07	28.61	36.99	47.09	57.29
			83.65	86.86	89.84	92.61	96.04	98.79	92.52	88.78	85.49	81.54	77.53
			Sedang	Agak baik	Baik	Baik	Baik	Baik	Agak baik	Sedang	Sedang	Sedang	Agak buruk
3	*trees.bmp*	*wajah.bmp*	37.27	29.62	22.49	15.85	8.21	2.89	8.71	16.18	22.82	29.68	37.37
			85.39	88.38	91.18	93.79	96.78	98.87	96.59	93.66	91.05	88.36	85.35
			Sedang	Sedang	Agak baik	Agak baik	Baik	Baik	Baik	Agak baik	Agak baik	Sedang	Sedang
4	*barbara.bmp*	*band.wav*	57.96	46.35	34.89	23.62	12.12	2.89	12.23	23.96	35.99	48.12	60.41
			77.27	81.82	86.32	90.74	95.25	98.87	95.21	90.6	85.89	81.13	76.31
			Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk	Sedang	Sedang	Agak baik	Sedang	Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk
5	*ipung.bmp*	*into the silent j'rock.wav*	58.49	46.72	35.22	23.77	12.19	2.95	15.61	32.02	47.05	60.34	71.51
			77.06	81.68	86.19	90.68	95.22	98.85	93.88	87.45	81.55	76.34	71.96
			Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk	Sedang	Agak baik	Agak baik	Agak baik	Sedang	Agak buruk	Buruk	Buruk
6	*saturn.bmp*	*berkata 15db.wav*	51.44	41.78	32.79	25.73	19.23	16.14	19.29	25.37	32.62	41.67	51.38
			79.83	83.62	87.14	89.91	92.46	93.67	92.43	90.05	87.21	83.66	79.85
			Buruk	Buruk	Agak buruk	Sedang	Agak baik	Agak baik	Agak baik	Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk

Tabel 4.11. Hasil pengujian pengubahan ukuran

No.	Pengujian		Data Hasil Pengungkapan								
			Resize (%)								
			120	115	110	105	100	95	90	85	80
			.....RMS								
			.....Rasio								
			.....Kualitas								
1	*lenna.bmp*	*rs232.bmp*	53.55	53.99	55.34	59.09	2.89	81.67	95.15	108.59	121.61
			78.99	78.83	78.29	76.83	98.67	67.98	62.69	57.41	52.31
			Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Baik	Agak buruk	Buruk	Buruk	Buruk
2	*keluarga.bmp*	*aku.bmp*	27.04	27.21	27.74	29.32	3.09	39.85	47.19	54.78	62.09
			89.39	89.33	89.12	88.5	98.79	84.37	81.49	78.52	75.65
			Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Baik	Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk
3	*trees.bmp*	*wajah.bmp*	33.96	34.07	34.69	36.77	2.89	50.99	60.08	69.87	79.79
			86.68	86.64	86.39	85.58	98.87	80	76.44	72.59	68.71
			Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Baik	Sedang	Sedang	Agak buruk	Agak buruk
4	*barbara.bmp*	*band.wav*	36.55	36.82	37.72	39.49	2.89	53.97	63.73	72.65	81.64
			85.67	85.56	85.21	84.51	98.87	78.84	75	71.51	67.98
			Sedang	Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak baik	Agak buruk	Agak buruk	Buruk	Buruk
5	*ipung.bmp*	*into the silent j'rock.wav*	36.42	36.68	37.48	39.66	2.95	75.09	64.05	73.51	95.22
			85.72	85.62	85.3	84.45	98.85	70.55	74.88	71.17	62.66
			Sedang	Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak baik	Buruk	Buruk	Buruk	Buruk
6	*saturn.bmp*	*berkata 15db.wav*	42.56	42.75	43.29	45.68	16.14	81.09	71.74	95.47	93.72
			83.31	83.24	83.02	82.09	93.67	68.2	71.87	62.56	63.25
			Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk	Agak baik	Agak buruk	Agak buruk	Buruk	Buruk

Tabel 4.11. Hasil pengujian pemotongan

No.	Pengujian		Data Hasil Pengungkapan					
			Cropping(%)					
			0	10	20	30	40	50
			.....RMS					
			.....Rasio					
			.....Kualitas					
1	*lenna.bmp*	*rs232.bmp*	2.89	86.44	117.55	139.74	156.35	171.03
			98.87	66.1	53.91	45.2	38.69	32.93
			Baik	Sedang	Agak buruk	Buruk	Buruk	Buruk
2	*keluarga.bmp*	*aku.bmp*	3.09	44.64	61.11	72.66	81.34	88.06
			98.79	82.49	76.04	71.51	68.1	65.47
			Baik	Agak baik	Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk
3	*trees.bmp*	*wajah.bmp*	2.89	48.92	69.19	83.62	93.75	102.09
			98.87	80.82	72.87	67.21	63.24	59.97
			Baik	Agak baik	Agak buruk	Agak buruk	Buruk	Buruk
4	*barbara.bmp*	*band.wav*	2.89	55.83	76.4	91.13	101.96	111.38
			98.87	78.11	70.04	64.26	60.02	56.32
			Agak baik	Buruk	Buruk	Buruk	Buruk	Buruk
5	*ipung.bmp*	*into the silent j'rock.wav*	2.95	58.16	79.89	95.09	106.47	115.33
			98.85	77.19	68.67	62.71	58.25	54.77
			Agak baik	Buruk	Buruk	Buruk	Buruk	Buruk
6	*saturn.bmp*	*berkata 15db.wav*	16.14	54.63	75.79	91.03	102.04	110.67
			93.67	78.56	70.28	64.3	59.98	56.6
			Agak baik	Buruk	Buruk	Buruk	Buruk	Buruk

Tabel 4.12. Hasil pengujian kompresi JPEG

No.	Pengujian		Data Hasil Pengungkapan				
			Kompresi				
			100	95	90	85	80
			.....RMS				
			.....Rasio				
			.....Kualitas				
1	*lenna.bmp*	*rs232.bmp*	2.89	15.27	43.56	48.77	85.75
			98.87	94.01	82.92	80.88	66.37
			Baik	Agak baik	Agak buruk	Buruk	Buruk
2	*keluarga.bmp*	*aku.bmp*	3.09	13.78	22.42	31.19	37.89
			98.79	94.59	91.21	87.77	85.14
			Baik	Agak baik	Sedang	Agak buruk	Agak buruk
3	*trees.bmp*	*wajah.bmp*	2.89	16.57	30.63	40.79	62.12
			98.87	93.5	87.99	84.01	75.64
			Baik	Sedang	Buruk	Buruk	Buruk
4	*barbara.bmp*	*band.wav*	2.89	16.05	25.43	34.53	63.28
			98.87	93.71	90.03	86.46	75.18
			Agak baik	Sedang	Agak buruk	Buruk	Buruk
5	*ipung.bmp*	*into the silent j'rock.wav*	2.95	15.67	26.79	38.34	58.49
			98.85	93.86	89.49	84.97	77.06
			Agak baik	Sedang	Agak buruk	Agak buruk	Agak buruk
6	*saturn.bmp*	*berkata 15db.wav*	16.14	22.69	29.24	41.71	78.84
			93.67	91.1	88.53	83.64	69.08
			Agak baik	Sedang	Buruk	Buruk	Buruk

Dari hasil pengujian-pengujian di atas didapatkan bahwa program cukup tahan terhadap beberapa nilai operasi manipulasi data. Meskipun data hasil pengungkapan mengalami kerusakan atau perubahan kualitasnya, akan tetapi informasinya masih dapat dikenali atau diartikan. Program masih dapat mentoleransi operasi manipulasi data pada nilai rata-rata sebagai berikut.

1. Pengubahan kecerahan
   - Pengurangan, hingga 40% untuk data citra dan 10% untuk data suara.
   - Penambahan, hingga 40% untuk data citra dan 20% untuk data suara.
2. Pengubahan kontras, hingga 40% baik untuk operasi pengurangan maupun penambahan.
3. Pengubahan ukuran
   - Pengurangan, hingga 85% untuk data citra dan 95% untuk data suara.
   - Penambahan, semua nilai.
4. Pemotongan, hingga 30% untuk data citra dan kurang dari 2% untuk data suara.
5. Kompresi JPEG, hingga 90%.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. *Discrete Cosine Transform* dan *Chaos Theory* telah berhasil diterapkan untuk membuat suatu sistem steganografi yang dapat digunakan untuk menyembunyikan data citra (BMP), teks (TXT), dan suara (WAV) pada media citra digital (BMP *grayscale*). Teknik steganografi yang digunakan adalah *blind-image steganography*.
2. Penentuan keseimbangan *trade-off factor* dilakukan dengan menentukan nilai parameter penyempitan histogram dan parameter penyisipan data. Dari hasil pengujian didapatkan beberapa nilai parameter sebagai berikut: nilai koefisien penyempitan 0,75; pusat penyempitan 128; faktor kekuatan 0,1; posisi penyisipan data pada koefisien frekuensi DCT indeks ke-21 sampai ke-48.

3. Pengujian program dengan melakukan 16 percobaan data citra, 9 percobaan data suara, dan 9 percobaan data teks menunjukkan bahwa program cukup baik digunakan untuk menyembunyikan data rahasia baik yang berupa citra digital maupun suara digital dengan rasio kemiripan mencapai lebih dari 92%. Namun sangat buruk jika digunakan untuk menyembunyikan data yang berupa teks digital karena satu kesalahan bit saja akan menghasilkan teks yang berbeda pada hasil ekstraksi (pengungkapan) data teks.
4. Oleh karena faktor kekuatan yang digunakan adalah 0,1 maka hasil pengujian penyembunyian dan pengungkapan data yang kurang baik akan terjadi jika data rahasia yang digunakan banyak memiliki area (*region*) bernilai maksimal (255). Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan pengurangan kecerahan untuk data citra dan pelemahan amplitudo untuk data suara.
5. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa program dapat tahan (*robust*) pada beberapa operasi manipulasi berikut:
   a) Pengubahan kecerahan (*brightness*)
      - Pengurangan, hingga 40% untuk data citra dan 10% untuk data suara.
      - Penambahan, hingga 40% untuk data citra dan 20% untuk data suara.
   b) Pengubahan kontras (*contrast*), hingga 40% baik untuk operasi penambahan dan pengurangan.
   c) Pengubahan ukuran (*resizing*),
      - Pengurangan, hingga 85% untuk data citra dan 95% untuk data suara.
      - Penambahan, semua nilai.
   d) Pemotongan (*cropping*), hingga 30% untuk data citra dan kurang dari 2% untuk data suara
   e) Kompresi JPEG, hingga 90%.

   Meskipun mengalami penurunan kualitas, namun hasil pengungkapan masih dapat dikenali.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut untuk penyembunyian data dengan menggunakan citra berwarna sebagai citra penampung dan juga data video sebagai data rahasia. Selain itu perlu juga dikembangkan untuk data rahasia digital dengan format selain BMP, WAV, dan TXT.
2. Program ini masih memerlukan waktu eksekusi yang cukup lama sehingga perlu dikembangkan program dengan algoritma yang lebih cepat.
3. Perlu dilakukan penelitian dan pengujian yang lebih mendalam untuk mendapat nilai-nilai parameter yang paling tepat sehingga didapatkan titik keseimbangan yang terbaik antara faktor-faktor yang berkompetisi dalam steganografi.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Munir, R, "*Pengolahan Citra Digital Dengan Pendekatan Algoritmik*", Informatika, Bandung, 2004.

[2]. Andino Masaleno , "*Pengantar Steganografi*", IT Community , Jogjakarta, 2005.

[3]. Henry, "*Video Steganography*", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2006.

[4]. Yus Gias Vembrina, "*Spread Spectrum Steganography*", Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, 2006.

[5]. S. Mabtoul, E. Ibn-Elhaj, D. Aboutajdine, *"A Blind Chaos-Based Complex Wavelet-Domain Image Watermarking Technique"*, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.6 No.3, March 2006.

[6]. E. Chrysochos, V. Fotopoulos, and A. N. Skodras *"Robust Watermarking of Digital Images Based on Chaotic Mapping And DCT"*, Digital Systems & Media Computing Laboratory, School of Science and Technology, Hellenic Open University, 2008.

[7]. Rinaldi Munir, Bambang Riyanto, Sarwono Sutikno, Wiseto P. Agung, "*Modifikasi Spread Spectrum Watermarking dari Cox Berbasiskan pada Enkripsi Chaotic"*, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB, Bandung, 2007.

[8]. Murinto, *"Penyisipan Robust Watermark dalam Suatu Citra Untuk Perlindungan Hak Cipta*", Teknik Informatika Universitas Ahmad Dahlan, Jogjakarta, 2008.

[9]. Miftahur Rahim, *"Teknik Penyembunyian Data Rahasia dengan Menggunakan Citra Digital sebagai Berkas Penampung"*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.

[10]. Desi Alex Lestari, *"Implementasi Teknik Watermarking Digital Pada Domain DCT untuk Citra Berwarna"*, Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2003.

[11]. Syed Ali Khayam, *"Discrete Cosine Transform:Theory and Application"*, Department of Electrical & Computer Engineering, Michigan State University, Yogyakarta, 2003.

[12]. Edward N. Lorenz, "*Deterministic non-periodic flow, Journal of the Atmospheric Sciences"*, vol. 20, 1963.

[13]. Ian Stewart, *"Does God Play Dice? The Mathematics of Chaos"*, Blackwell Publishers, 1990.

[14]. Gleick, James, "*Chaos: Making a New Science*", London: Cardinal, 17, 1987.
[15]. Rinaldi Munir, Bambang Riyanto, Sarwono Sutikno, Wiseto P. Agung, "*Metode Asymetric Watermarking dengan Penjumlahan Chaos dalam Ranah DCT*", Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, 2007.
[16]. Rinaldi Munir, Bambang Riyanto, Sarwono Sutikno, Wiseto P. Agung, "*Metode Blind Image-Watermarking Berbasis Chaos dalam Ranah Discrete Cosine Transform (DCT)*", Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, 2003.
[17]. Rodiah, "*Watermarking Sebagai Teknik Penyembunyian Label Hak Cipta Pada Data Digital Menggunakan Algoritma DCT (Discrete Cosinus Transform)*", Unversitas Gunadarma Jakarta, 2004.
[18]. Ioannis Pitas , "*Digital Image Processing Algorithms*", Prentice Hall International, 1993.

BIOGRAFI PENULIS

Anton Prabowo, lahir di Karanganyar 20 Juli 1986. Menempuh pendidikan di SD Negeri Malang Jiwan II, SLTP Negeri 2 Surakarta, SMAN 4 Surakarta, dan saat ini sedang menyelesaikan pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Elektro UNDIP konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi.

Menyetujui dan Mengesahkan

Pembimbing I

Achmad Hidayatno , S.T., M.T.
NIP. 196912211995121001

Pembimbing II

Yuli Christiyono, S.T., M.T.
NIP. 196807111997021001