

Analisis Kualitas dan Kuantitas Steganografi dengan Interpolasi pada Citra Medis

Meirista Wulandari¹, Indah Soesanti²

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
(meiristawulandari@hotmail.com¹, indsanti@gmail.com²)

Abstract

Nowadays sharing of medical images through Internet is very popular to make telediagnosis, telesurgeries and teleconsultation. Steganography is an art of hiding information inside of a media, which is called cover media. This research presents steganography image on medical image. The medical image is divided into two areas edge and non-edge area. Each area has its embedding and extraction algorithm. A medical data in a text form is hidden inside medical image by interpolation technique. Interpolation technique is used to increase the embedding capacity. After steganography process, medical data and its cover image and its earlier image must be recovered and reversibly from extraction its stego image. The results show an average of the optimum embedding capacity is 103,404 bit with average PSNR is 41.8682 dB. Furthermore, analysis on texture of the stego image is done by this research. The analysis shows the impact of embedding process. The results of texture analysis is embedding process gives a big impact to energy 27.9199%, entropy 5.4725% and skewness 1.5266%.

Keywords: *steganography, data, medical image, interpolation, texture image*

1. Pendahuluan

Komunikasi dan informasi merupakan kebutuhan yang penting pada masa ini, termasuk dalam bidang medis. Pada zaman sekarang ini, pertukaran citra medis melalui Internet sangat populer. Menurut Kumar dkk, (2013) pertukaran ini bertujuan membuat telediagnosis, telesurgeries dan telekonsultasi. Perlindungan terhadap citra medis sangat penting karena di dalamnya terdapat informasi yang bersifat rahasia yakni detail mengenai pasien dan pendapat dokter mengenai penyakit yang diderita oleh pasien (Fallahpour dkk,2011).

Perlindungan keamanan pertukaran data dan citra medis didasarkan pada autentikasi, kerahasiaan dan integritas sehingga jalannya pertukaran data menjadi aman dan terpercaya serta memungkinkan dokter untuk mengakses berkas tersebut dari jarak jauh (Lou dkk, 2009). Autentikasi memastikan bahwa data tersebut adalah data asli yang tidak mengalami perubahan dalam perjalanannya dari pengirim menuju penerima dan hanya dapat diakses oleh pihak yang berhak atas data tersebut. Kerahasiaan meyakinkan penerima bahwa data yang dikirim tidak dapat dibaca atau

dimengerti oleh orang lain. Masalah autentikasi dapat diatasi dengan memberikan algoritma perlindungan data yang memastikan data tersebut tidak dimodifikasi orang lain di tengah pertukaran data seperti algoritma Hash atau algoritma penanda kepemilikan (*watermarking*) (Wei dkk, 2009).

Kerahasiaan data dapat dijaga dengan memberikan perlindungan data seperti pengacakan data (kriptografi) (Meneves dkk, 1996), penyembunyian data atau steganografi (Delp dkk, 2005).

Teknik steganografi cukup banyak mendapatkan perhatian dalam beberapa tahun ini (Shahreza, 2006). Steganografi adalah suatu teknik yang secara tidak terlihat dapat menyembunyikan data rahasia ke dalam media pembawa tanpa mengubah komponen yang paling signifikan untuk komunikasi rahasia, sehingga pihak tidak berkepentingan tidak menyadari keberadaan data rahasia (Wang dkk, 2004).

Penyembunyian dengan berkas medis perlu memperhatikan kapasitas pengembalian ke citra (*reversibility*) dan kualitas (Acharya dkk, 2001). Metode *reversible* dapat mengembalikan citra

pembawa tanpa distorsi dan mempunyai *recovery* pesan rahasia dengan valid.

Interpolasi merupakan proses penting dalam teori sinyal dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi (Maelland, 1988), terutama untuk memperbesar ukuran citra dengan pengaturan skala tertentu. Menurut Thévenaz dkk (2000) pengaturannya dibuat dengan memanfaatkan nilai-nilai piksel yang diketahui. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk perkiraan terhadap nilai piksel yang tidak diketahui untuk mengisi (Lee dkk, 2010). Proses ini adalah proses perkiraan, maka kualitas citra pasti akan berkurang (Chan dkk, 2010). Interpolasi citra sering dilakukan pada dunia medis, citra medis, citra digital, citra scan (Lehmann dkk, 1999).

Penelitian ini membahas mengenai steganografi dan interpolasi citra. Citra yang digunakan merupakan citra medis dengan simulasi data medis. Data medis disembunyikan di balik citra medis dengan teknik interpolasi agar dapat dikembalikan menjadi citra semulanya (*reversible*).

2. Fundamental

1. Steganografi dengan Interpolasi dan Deteksi Tepi

Jung dkk (2012) memperkenalkan metode steganografi berdasarkan pada interpolasi dan

algoritma deteksi tepi. Interpolasi dilakukan untuk proses pengembalian citra. Metode ini membagi area citra menjadi 2 bagian yaitu daerah tepi dan bukan daerah tepi. Pembagian ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra dan kapasitas penyembunyian. Diagram alir proses penyembunyian steganografi dapat dilihat pada gambar 1.

Langkah dari metode ini diawali dengan perbesaran citra, pembagian area dan penyembunyian data. Perbesaran citra dilakukan dengan skala X dan Y untuk arah horisontal dan vertikal.

Penyembunyian data dilakukan secara berurutan dengan zig-zag, dari kiri ke kanan dan dari atas ke bawah. Bagian kiri dari setiap blok disimpan. Citra pembawa dikatakan dengan C dengan ukuran $W \times H$ piksel. Data rahasia disebut dengan M dan n adalah bit data rahasia. Data rahasia berupa data teks. Setiap huruf dari data teks diubah ke dalam bentuk ASCII. Bilangan ASCII diubah kedalam 8 bit.

$$C = \{x_{ij} | 0 \leq i < W, 0 \leq j < H\}, x_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\} \quad (1)$$

$$M = \{m_l | 0 \leq l < n, m_l \in \{0, 1\}\} \quad (2)$$

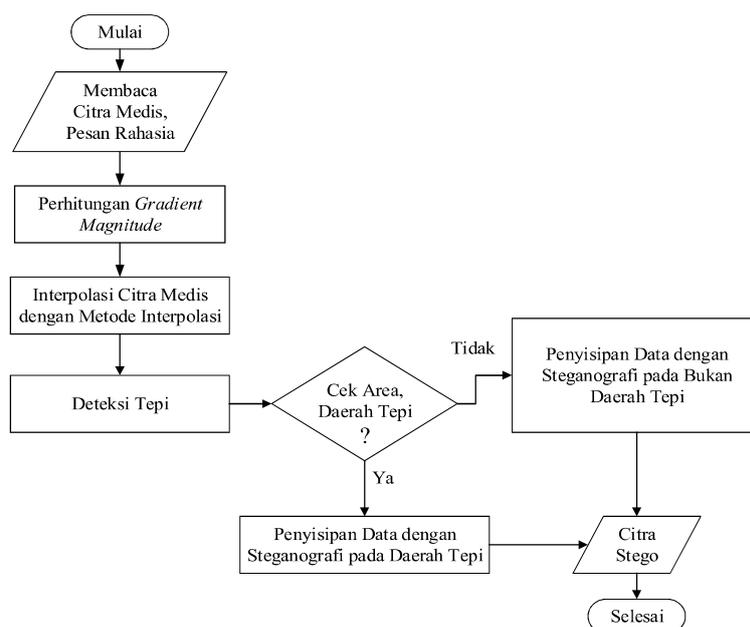
dengan,

C = citra pembawa

x_{ij} = anggota piksel matriks citra pembawa, C

W = ukuran baris matriks C

H = ukuran kolom matriks C



Gambar 1. Diagram Alir Proses Steganografi

- M = pesan rahasia
- m_l = barisan bit pesan rahasia yang telah diubah dalam kode ASCII 8 bit
- n = banyaknya bit pesan rahasia

Ada suatu *trade-off* antara kapasitas dan kualitas citra. Semakin besar kualitas penyembunyian, semakin rendah kualitas citranya. Sebelum disisipkan data rahasia, citra yang akan disisipkan data dilakukan pra pengolahan. Citra pra pengolahan (interpolasi) disebut sebagai C' ,

$$C' = X \cdot Y \cdot C \tag{3}$$

dengan,

- C' = citra hasil pra pengolahan (citra interpolasi)
- X = faktor skala untuk baris
- Y = faktor skala untuk kolom
- C = citra pembawa

Setiap piksel p_{ij} dari citra C diubah menjadi piksel baru, p'_{ij} , untuk citra pra pengolahan C' .

$$p'_{(Xi)(Yj)} = p_{ij} \tag{4}$$

dengan,

- p'_{ij} = piksel dari matriks C'
- p_{ij} = piksel dari matriks C
- X = faktor skala untuk baris
- Y = faktor skala untuk kolom

Piksel yang diperbesar dan belum dialokasi dihitung dengan β dan δ adalah nilai $\{\beta|0 \leq \beta < X\}$ dan $\{\delta|0 \leq \delta < Y\}$. Persamaan tidak berlaku saat nilai $\beta = \delta = 0$.

$$p'_{(Xi+\beta)(Yj+\delta)} = \begin{cases} \frac{p_{ij} + p_{(i+1)j}}{2} & \text{jika } i = zX, z = \text{bilangan int eger} \\ \frac{p_{ij} + p_{(i+1)j}}{2} & \text{keadaan lainnya} \end{cases} \tag{5}$$

Data rahasia M disisipkan ke dalam citra pra pengolahan C' . Metode ini menghitung nilai piksel termasuk ke dalam daerah tepi atau tidak, kemudian tentukan bit yang disembunyikan. Data rahasia disisipkan ke dalam *k-rightmost least significant bit* dari citra pembawa, data rahasia M dirancang untuk membentuk *k-bit*. Data rahasia yang disesuaikan dengan *k-bit* disebut sebagai M' , direpresentasikan pada persamaan (6) dan (7).

$$M' = \{m'_l | 0 \leq l < n, m'_l \in \{0, 1, \dots, 2^k - 1\}\} \tag{6}$$

$$m'_l = \sum_{j=0}^{k-1} m_{l \times k + j} \cdot 2^{k-1-j} \tag{7}$$

dengan,

- M' = rancangan pesan rahasia yang disisipkan, berupa data desimal gabungan dari m'_l
- m'_l = pesan rahasia yang dirancang untuk disisipkan desimal
- k = jumlah bit paling kanan yang hendak disisipi

Proses penyembunyian diselesaikan dengan menggantikan *k-rightmost least significant bit* dengan perhitungan pada persamaan (8)

$$p''_{ij} = p'_{ij} - (p'_{ij} \bmod 2^k) + m'_l \tag{8}$$

dengan

- p''_{ij} = piksel dari matriks citra stego, S
- p'_{ij} = piksel dari matriks C'
- k = jumlah bit paling kanan yang hendak disisipkan
- m'_l = pesan rahasia yang dirancang untuk disisipkan desimal

Bagian sudut kiri atas setiap ukuran blok piksel $X \times Y$ tidak berubah dan nilai k akan diberikan dengan perhitungan sebagai berikut. Perhitungan nilai k tergantung dari area pikselnya. Pada daerah tepi, k didapatkan dengan mempertimbangkan kualitas citra atau kapasitas, ditulis dengan E_b . Pada bukan daerah tepi, nilai k didapat dengan perhitungan *gradient magnitude* dan *threshold*, T . *Gradient magnitude* dapat dihitung dengan cara yang dituliskan pada persamaan

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \tag{9}$$

dengan,

- G = *gradient magnitude*
- G_x = *gradient magnitude x*
- G_y = *gradient magnitude y*

Gambar 3 menunjukkan sebuah jendela konvolusi. G_x dan G_y dapat dihitung dengan persamaan (10) dan (11)

$P_{(i-1)(j-1)}$	$P_{(i-1)j}$	$P_{(i-1)(j+1)}$
$P_{ij(j-1)}$	P_{ij}	$P_{ij(j+1)}$
$P_{(i+1)(j-1)}$	$P_{(i+1)j}$	$P_{(i+1)(j+1)}$

Gambar 3. Jendela Konvolusi 3x3

$$G_x = p_{(i-1)(j-1)} + 2p_{(i-1)j} + p_{(i-1)(j+1)} + (-1)p_{(i+1)(j-1)} + (-2)p_{(i+1)j} + (-1)p_{(i+1)(j+1)} \quad (10)$$

$$G_y = (-1)p_{(i-1)(j-1)} + p_{(i-1)(j+1)} + (-2)p_{i(j-1)} + 2p_{i(j+1)} + (-1)p_{(i+1)(j-1)} + p_{(i+1)(j+1)} \quad (11)$$

Hasil nilai G ini dibandingkan dengan nilai ambang batas, T . Perbandingan ini dilakukan untuk menentukan apakah blok ini termasuk ke dalam daerah tepi atau bukan daerah tepi. Jika nilai G termasuk ke dalam bukan daerah tepi maka hitung nilai d dengan persamaan (12) dan hitung nilai k dengan persamaan (13), dengan $G_{(i,j)} > T$ serta nilai β dan δ $\{\beta | 0 \leq \beta < X\}$ dan $\{\delta | 0 \leq \delta < Y\}$. Nilai d akan sama dengan nol jika $\beta = \delta = 0$.

$$d = p_{(Xi+\beta)(Yj+\delta)} - p_{(Xi)(Yj)} \quad (12)$$

$$k = \lfloor \log_2 |d| \rfloor \quad (13)$$

dengan

- d = nilai selisih antara dua piksel
- p'_{ij} = piksel dari matriks C'
- X = faktor skala untuk baris
- Y = faktor skala untuk kolom
- k = jumlah bit paling kanan yang hendak disisipkan

Proses ekstraksi, data rahasia yang disembunyikan dapat secara langsung diekstraksi tanpa merujuk pada citra pembawa. Nilai k setiap sub blok dapat diekstraksi berdasarkan proses penyisipan dan diakumulasi untuk rekonstruksi bit data rahasia yang dihitung dengan persamaan (14) dengan mengecualikan subblok ketika $\beta = \delta = 0$

$$m_i = \begin{cases} \left\{ \frac{p_{(Xi+\beta)(Yj+\delta)} - p_{(Xi)(Yj+1)}}{2} \right\} & \text{jika } i = zX, z = \text{bilangan integer} \\ \left\{ \frac{p_{(Xi)(Yj)} - p_{(Xi+1)(Yj)}}{2} \right\} & \text{Keadaan yang lainnya} \end{cases} \quad (14)$$

Citra pembawa dapat dikembalikan dengan akumulasi piksel atau bisa juga didapatkan dengan persamaan (15)

$$C = \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} p_{(Xi)(Yj)} \quad (15)$$

dengan

- C = citra pembawa
- W = ukuran baris matriks C
- H = ukuran kolom matriks C

- p''_{ij} = piksel dari matriks citra stego, S
- X = faktor skala untuk baris
- Y = faktor skala untuk kolom

2. Parameter PSNR

Faktor utama permasalahan adalah memperhatikan sistem visual manusia, berapa banyak data rahasia yang dapat disembunyikan di balik suatu citra, karena *imperceptibility* dan kapasitas berlawanan. Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR). Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra medis dengan skala keabuan 8 bit, maka PSNR dapat dihitung dengan menghitung *Mean Square Error* (MSE) pada persamaan

$$MSE = \sum_{i=0}^{WX-1} \sum_{j=0}^{HY-1} \frac{(p'_{ij} - p''_{ij})^2}{W \cdot X \cdot H \cdot Y} \quad (16)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (17)$$

dengan,

- MSE = Mean Square Error
- p'_{ij} = piksel dari matriks citra pembawa, C
- p''_{ij} = piksel dari matriks citra stego, S
- W = ukuran baris matriks C
- H = ukuran kolom matriks C
- X = faktor skala untuk baris
- Y = faktor skala untuk kolom
- $PSNR$ = Peak Signal-to-Noise Ratio

3. Tekstur Citra

Tekstur suatu citra didefinisikan sebagai hubungan mutual antara nilai intensitas piksel-piksel yang bertetangga. Tekstur citra banyak dipakai untuk berbagai kepentingan contoh: untuk restorasi, klasifikasi dan segmentasi.

Metode sederhana untuk mendapatkan tekstur adalah dengan mendasarkan pada histogram (Kadir dkk, 2013). Fitur pertama yang dapat dihitung secara statistis adalah rerata intensitas. Komponen fitur ini dihitung dengan persamaan:

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot p(i) \quad (18)$$

Dalam hal ini, i adalah aras keabuan pada citra f dan $p(i)$ menyatakan probabilitas kemunculan i dan L menyatakan nilai aras keabuan tertinggi. Rumus di atas akan menghasilkan rerata kecerahan objek.

Fitur kedua berupa deviasi standar.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (i-m)^2 p(i)} \tag{19}$$

Fitur *skewness* merupakan ukuran ketidaksimetrisan terhadap rerata intensitas.

$$skewness = \sum_{i=1}^{L-1} (i-m)^3 p(i) \tag{20}$$

Energi adalah ukuran yang menyatakan distribusi intensitas piksel terhadap jangkauan aras keabuan

$$energi = \sum_{i=0}^{L-1} (p(i))^2 \tag{21}$$

Entropi mengindikasikan kompleksitas citra. Semakin tinggi nilai entropi, semakin kompleks citra tersebut. Perlu diketahui, entropi dan energy berkecenderungan berkebalikan. Entropi juga merepresentasikan jumlah informasi yang terkandung di dalam sebaran data.

$$entropi = -\sum_{i=0}^{L-1} p(i).log_2(p(i)) \tag{22}$$

Properti kehalusan (*smoothness*) biasa disertakan untuk mengukur tingkat kehalusan intensitas pada citra

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2} \tag{23}$$

3. Metodologi

Alat dan bahan yang digunakan dalam sistem steganografi citra menggunakan perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Alat

Alat yang digunakan processor Core (TM) i3-4010M CPU 1,7GHz, RAM 4,00 GB dan sistem operasi 64-bit. Perangkat lunak yang digunakan adalah sistem operasi windows 8.1 pro, Matlab 2012a dari Mathworks.Inc, Microsoft Office 2013 dan XnView.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data teks dan data citra. Data teks sebagai pesan yang disimpan dalam citra medis. Citra medis berwarna akan diubah ke dalam citra berskala keabuan. Citra medis berskala-keabuan yang digunakan berukuran 128×128 piksel dengan format *.jpg. Citra medis yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 16 citra. Citra tersebut adalah 3 buah citra

mammogram, 3 buah citra fundus, 3 buah citra USG, 3 buah citra sel darah tepi, 2 buah citra x-ray, 1 buah citra ct scan dan 1 buah citra MRI.

3. Jalannya Penelitian

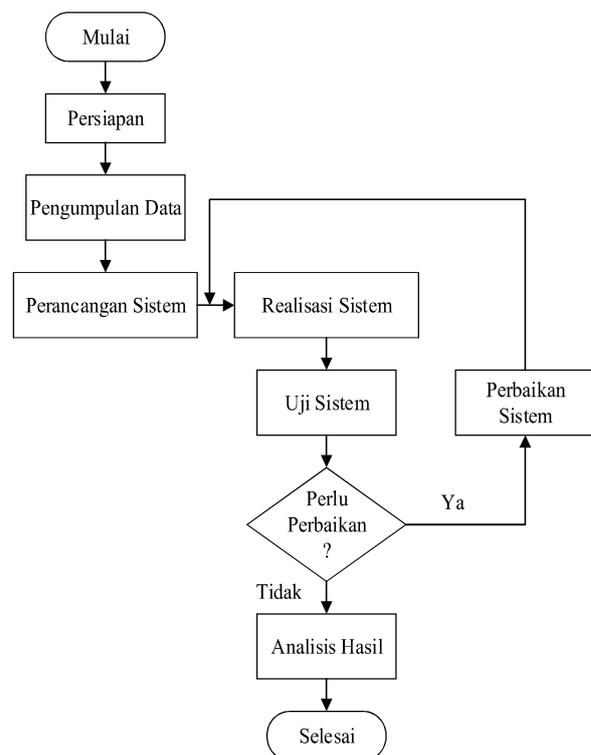
Jalan penelitian dapat digambarkan pada Gambar 3 Tahapan-tahapan penelitian secara ringkas dapat dijelaskan sebagai berikut:

a) Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Tahap ini dilakukan dengan penyusunan rencana sehingga diperoleh efisiensi serta efektifitas waktu dan pekerjaan. Tahap ini diawali dengan studi pustaka terhadap materi untuk proses evaluasi dan perencanaan, identifikasi masalah dan pengambilan data.

b) Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan tahap untuk menentukan permasalahan dan penentuan alternatif pemecahan masalah yang akan diambil. Data yang dikumpulkan merupakan citra-citra medis yang diambil dari Internet.



Gambar 4. Diagram Alir Jalannya Penelitian

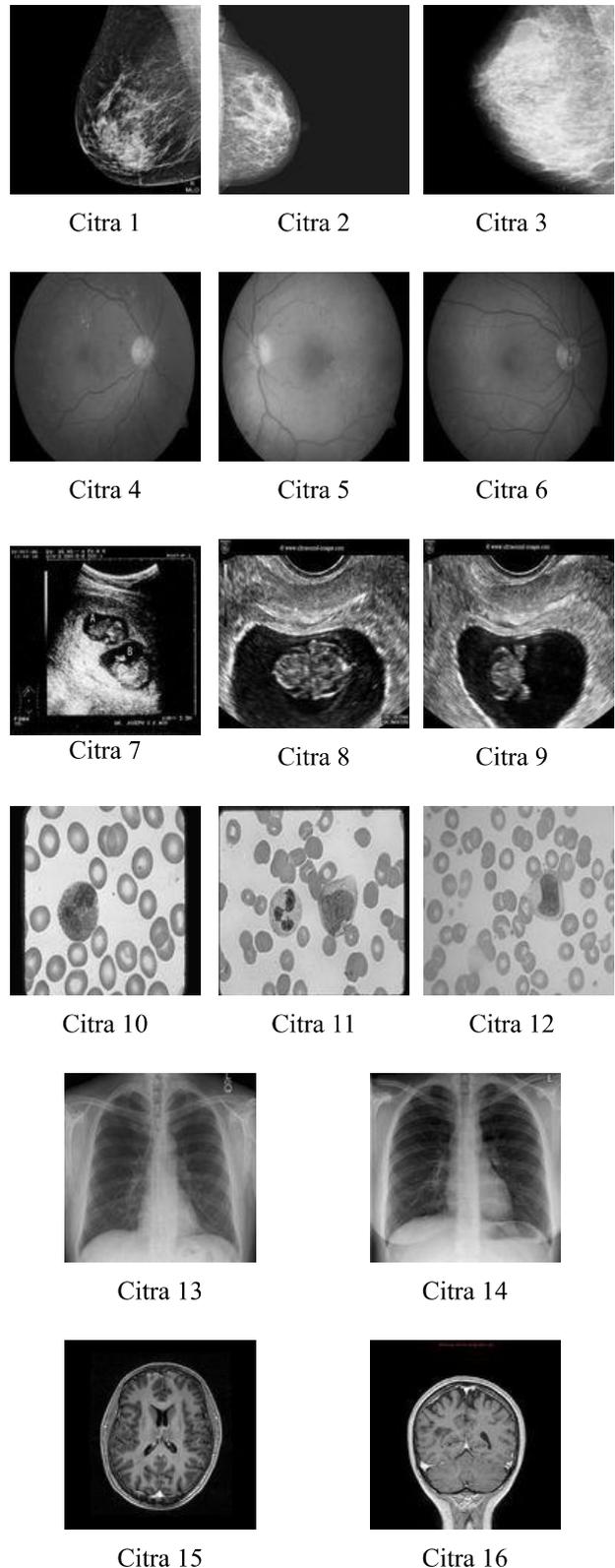
- c) Tahap Perancangan Sistem
Perancangan sistem untuk steganografi citra medis dengan algoritma deteksi tepi ini terdiri atas beberapa tahap yaitu interpolasi, deteksi tepi, penyisipan, ekstraksi dan *reversible*.
- d) Tahap Realisasi Sistem
Realisasi sistem untuk steganografi citra medis dengan algoritma deteksi tepi ini terdiri atas beberapa tahap yaitu interpolasi, deteksi tepi, penyisipan, ekstraksi dan *reversible* dilakukan dengan program Matlab 2012a.
- e) Uji Sistem
Sistem ini diuji dengan melihat hasil keluaran dari sistem. Sistem dikatakan tidak perlu perbaikan ketika hasil ekstraksi data rahasia dapat dibaca kembali sesuai dengan data sebelum penyisipan dan ketika citra awal dapat diekstraksi sesuai citra awal sebelum diinterpolasi.
- f) Tahap Analisis
Analisis dan pengolahan dilakukan berdasarkan data yang diperoleh. Evaluasi hasil dilakukan dengan mengukur kualitas citra dari sistem steganografi.
- g) Tahap Penulisan Laporan
Tahap akhir dari suatu kegiatan penelitian adalah menulis atau menyusun laporan penelitian.

4. Hasil dan Pembahasan

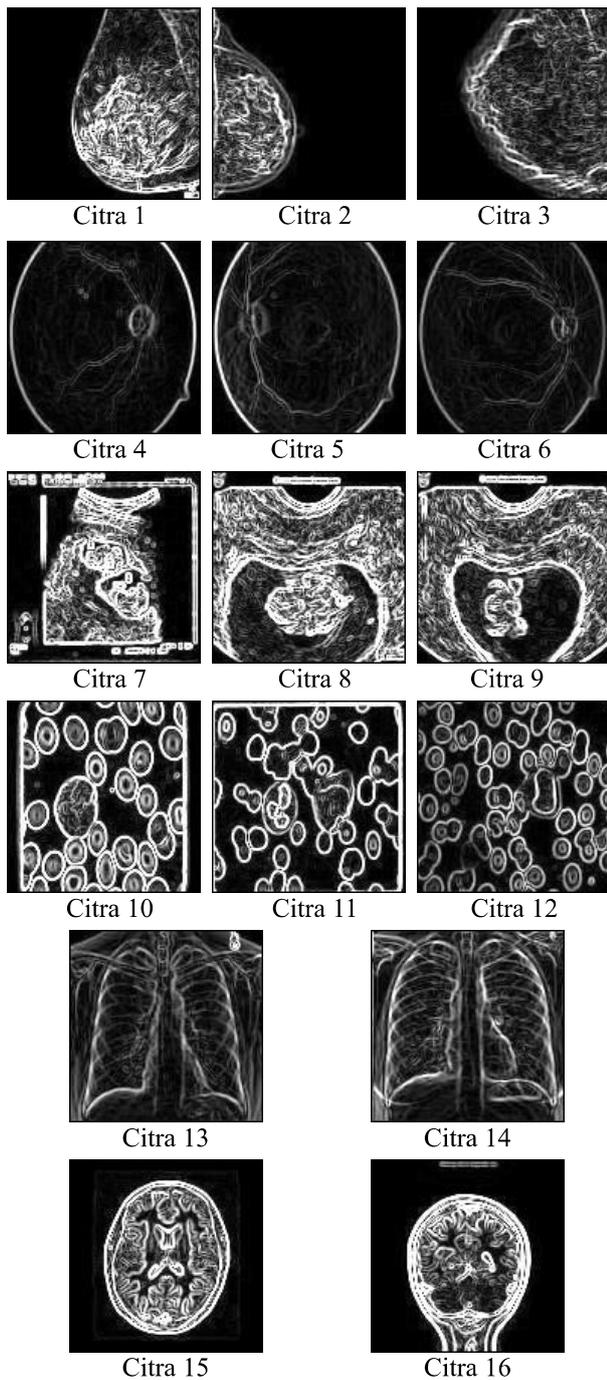
Interpolasi dilakukan terhadap 16 buah citra uji medis berskala keabuan dengan ukuran 128×128 piksel. Keenam belas citra medis dapat dilihat pada Gambar 2 dan hasil interpolasinya dapat dilihat pada Gambar 4. Citra uji tersebut kemudian dicari *gradient magnitude* nya (citra deteksi tepi). Hasil deteksi tepi dapat dilihat pada Gambar 3.

Keenam belas citra deteksi tepi dan citra interpolasi dibandingkan agar proses steganografi berjalan sesuai dengan alurnya. Apabila piksel yang hendak disisipkan berada pada daerah tepi, maka penyisipan dilakukan berdasarkan algoritma penyisipan pada daerah tepi. Sedangkan bila piksel yang hendak disisipkan berada pada bukan

daerah tepi, maka penyisipan dilakukan berdasarkan algoritma penyisipan pada bukan daerah tepi.

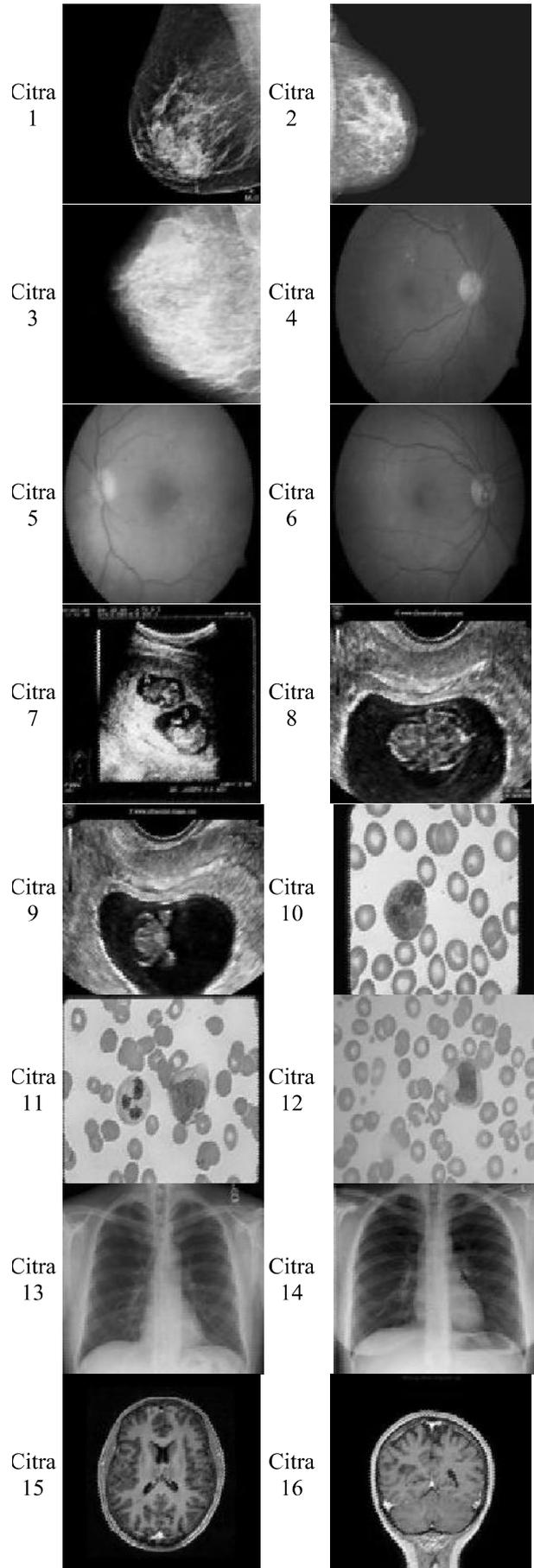


Gambar 2. Citra Medis Awal 128×128 Piksel



Gambar 3. Citra Deteksi Tepi (*Gradient Magnitude*)

Masing-masing citra uji medis mempunyai kapasitas maksimumnya pada nilai T yang berbeda-beda. Tabel 1 memperlihatkan kapasitas penyembunyian dan PSNRnya. Tabel 1 menunjukkan $E_b=2$ mempunyai kapasitas yang lebih sedikit dibanding dengan nilai $E_b=3$. Hal ini dapat dilihat pada rata-rata nilai kapasitas pada $T=12$ dengan $E_b=2$ adalah 80.736 bit, sedangkan nilai kapasitas pada $T=12$ dengan $E_b=3$ lebih besar yaitu 96.589 bit.



Gambar 4. Citra Medis Interpolasi 256×256 Piksel

Tabel 1. Kapasitas Penyembunyian dan PSNR

Citra	T=12 , $E_b=2$		T=12 , $E_b=3$		T=128 , $E_b=2$		T=128 , $E_b=3$	
	Kapasitas (Bit)	PSNR (dB)	Kapasitas (Bit)	PSNR (dB)	Kapasitas (Bit)	PSNR (dB)	Kapasitas (Bit)	PSNR (dB)
Citra 1	95.592	40,7347	117.681	38,1691	104.733	41,0921	145.227	37,6165
Citra 2	93.768	43,3795	128.517	42,2253	99.648	43,526	144.948	41,2221
Citra 3	76.719	44,6209	95.304	40,5207	99.546	44,1869	145.065	38,5143
Citra 4	67.626	46,5492	75.633	42,4679	98.565	45,038	146.223	39,1669
Citra 5	51.531	47,8246	68.226	43,0783	98.616	45,0171	146.148	39,324
Citra 6	54.78	48,0463	75.633	42,4679	98.385	45,3948	146.940	39,2784
Citra 7	101.256	37,3161	118.716	36,5101	110.130	37,8272	144.249	36,2701
Citra 8	103.923	37,8914	109.491	37,5503	113.451	38,4288	143.760	36,9611
Citra 9	96.666	38,7785	103.695	38,4806	108.888	39,3596	142.770	37,494
Citra 10	90.027	38,7008	101.787	38,1601	107.580	38,6963	141.582	37,1708
Citra 11	82.389	40,6067	95.898	39,4689	104.094	40,5141	141.060	38,1046
Citra 12	74.364	43,9344	86.979	41,8861	100.719	43,4157	140.607	39,3869
Citra 13	50.271	47,6709	57.105	45,4184	98.430	45,0989	145.095	39,4952
Citra 14	55.584	46,2249	61.122	44,7887	98.535	44,5938	142.377	39,5252
Citra 15	94.827	39,502	119.325	37,6151	105.306	39,7983	144.693	37,2102
Citra 16	102.456	37,6909	130.305	35,9506	107.832	37,9036	147.372	35,8628
Total	1.291.779	679,4718	1.545.417	644,7581	1.654.458	669,8912	2.308.116	612,6031
Rata-rata	80.736	42,4670	96.589	40,2974	104.404	41,8682	144.257	38,2877

Rata-rata kapasitas pada $T=128$ dengan $E_b=2$ mempunyai kapasitas 103.404 bit, sedangkan pada $T=128$ dan $E_b=3$ mempunyai rata-rata kapasitas yang lebih besar yaitu 144.2557 bit. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan nilai E_b yang lebih besar maka kapasitasnya juga akan lebih besar. *Trade off* pun terjadi antara kapasitas dengan PSNR. Nilai E_b yang lebih besar berakibat pada menurunnya PSNR. Hal ini dapat dilihat pada rata-rata nilai PSNR baik pada $T=12$ dan $T=128$. Rata-rata nilai PSNR pada $T=12$ dengan $E_b=2$ (42,4670 dB) lebih besar daripada rata-rata nilai PSNR pada $T=12$ dengan $E_b=3$ (40,2974 dB). Pada $T=128$ nilai rata-rata PSNR dengan $E_b=2$ yaitu 41,8682 dB lebih besar dibanding nilai rata-rata PSNR dengan $E_b=3$ yaitu 38,2877 dB.

Pada nilai T yang sama, nilai toleransi *least significant bit*, E_b , yang besar mempunyai kapasitas yang besar. Namun, hal ini berbanding terbalik dengan nilai PSNRnya yang semakin turun. Sehingga diperlukan perkiraan agar kapasitas dan PSNR dapat berjalan optimal.

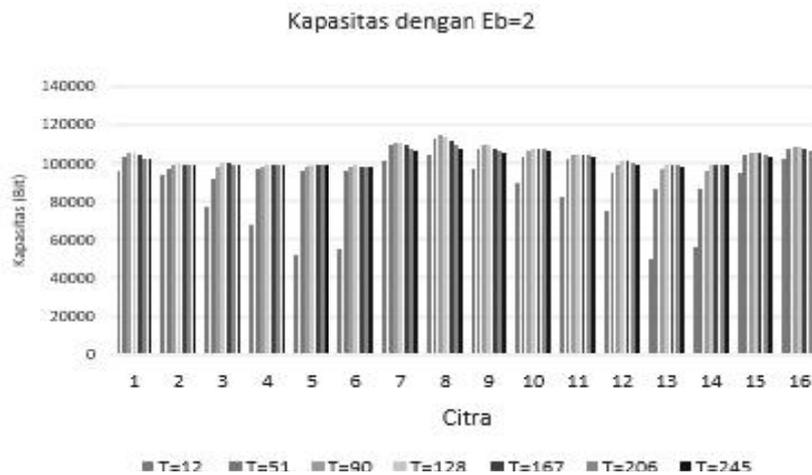
Tabel 1 menunjukkan perbedaan kapasitas antara $T=12$ dan $T=128$ dengan tidak banyak menyebabkan penurunan PSNR. Penyisipan bit lebih

banyak namun efek terhadap citra stego lebih kecil jika dibandingkan usaha menaikkan nilai E_b untuk meningkatkan kapasitas. Kapasitas $T=12$ lebih kecil bila dibandingkan dengan $T=128$. Hal ini dapat ditelusuri kembali pada Tabel 2 yang memperlihatkan hubungan antara perubahan T terhadap kapasitas. Terdapat 7 buah nilai T yang dilakukan terhadap masing-masing citra yaitu 12, 51, 90, 128, 167, 206 dan 245.

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai kapasitas yang paling minimum adalah pada $T=12$. Setiap citra memiliki nilai T masing-masing untuk menghasilkan kapasitas maksimum. Gambar 7. memperlihatkan bahwa dengan mengubah nilai T maka kapasitas berubah. Kapasitas akan mencapai maksimum pada T tertentu, setelah mencapai maksimum, kapasitas akan berkurang. Nilai T optimum dicari untuk mendapatkan kapasitas yang optimal. Pencarian nilai T ini dilakukan dengan menjumlahkan keenambelas nilai T yang berkapasitas maksimum dan dibagi dengan enam belas. Nilai T optimal untuk penelitian ini adalah $T=128,3125$ yang dibulatkan menjadi 128. Gambar 8 memperlihatkan kapasitas masing-masing citra pada saat $T=128$ dimana mayoritas dari keenambelas citra memiliki kapasitas maksimum.

Tabel 2. Pengaruh Nilai Ambang Batas terhadap Kapasitas

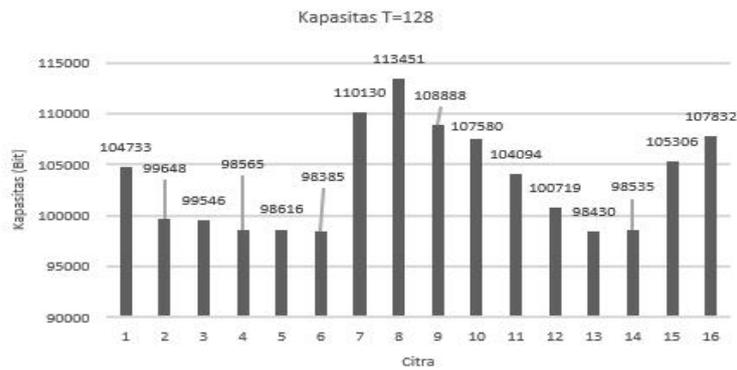
Citra	Kapasitas dengan E b=2 (Bit)						
	T=12	T=51	T=90	T=128	T=167	T=206	T=245
Citra 1	95.592	103.284	104.913	104.733	103.743	102.531	101.655
Citra 2	93.768	96.990	99.171	99.648	99.399	99.114	98.787
Citra 3	76.719	91.074	98.334	99.546	99.468	99.132	98.808
Citra 4	67.626	96.741	98.160	98.565	98.622	98.583	98.517
Citra 5	51.531	95.529	98.184	98.616	98.796	98.721	98.712
Citra 6	54.780	95.823	97.902	98.385	98.343	98.304	98.304
Citra 7	101.256	109.575	110.439	110.130	109.182	107.658	106.272
Citra 8	103.923	112.539	114.495	113.451	111.552	109.542	107.388
Citra 9	96.666	107.031	109.302	108.888	107.67	106.131	104.757
Citra 10	90.027	102.900	106.395	107.580	107.451	106.971	106.554
Citra 11	82.389	101.859	103.809	104.094	104.088	103.788	103.164
Citra 12	74.364	94.770	99.300	100.719	100.803	99.837	98.865
Citra 13	50.271	86.745	96.477	98.430	98.637	98.490	98.367
Citra 14	55.584	86.082	95.895	98.535	98.979	98.832	98.583
Citra 15	94.827	104.274	105.168	105.306	104.808	103.809	103.056
Citra 16	102.456	107.289	107.919	107.832	107.265	106.449	105.603
Total	1.291.779	1.598.172	1.645.863	1.654.458	1.648.806	1.637.892	1.627.392
Rata-rata	80.736	99.886	102.866	103.404	103.050	102.368	101.712



Gambar 8. Grafik Pengaruh Nilai Ambang Batas terhadap Kapasitas

Steganografi dengan interpolasi ini mempunyai kapasitas yang besar dibanding dengan steganografi *reversible* lainnya (berbasis pada modifikasi histogram). Tabel 3 memperlihatkan perbandingan kapasitas antara metode interpolasi ini dengan 2 metode *reversible* lainnya yang berbasis histogram.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa metode steganografi dengan interpolasi menyediakan kapasitas penyembunyian yang jauh lebih besar. Jika dirata-rata kapasitas penyembunyiannya bisa mencapai 30 kali dibanding dengan kedua metode *reversible* berbasis histogram.



Gambar 9. Kapasitas Optimal pada T=128

Tabel 3. Perbandingan Kapasitas Metode Interpolasi dengan Metode *Reversible* Berbasis Histogram

Citra	Kapasitas (bit)						
	NSAS	RHC -4tiles	RHC -16tiles	Interpolasi T=12, E _b =2	Interpolasi T=12, E _b =3	Interpolasi T=128, E _b =2	Interpolasi T=128, E _b =3
Citra 1	6.763	6.871	6.955	95.592	117.681	104.733	145.227
Citra 2	11.014	11.015	11.056	93.768	128.517	99.648	144.948
Citra 3	5.355	5.434	5.605	76.719	95.304	99.546	145.065
Citra 4	1.451	1.452	2.147	67.626	75.633	98.565	146.223
Citra 5	830	1.008	1.438	51.531	68.226	98.616	146.148
Citra 6	960	1.134	1.751	54.780	75.633	98.385	146.940
Citra 7	3.958	3.959	3.986	101.256	118.716	110.130	144.249
Citra 8	1.099	1.100	1.268	103.923	109.491	113.451	143.760
Citra 9	1.085	1.139	1.361	96.666	103.695	108.888	142.770
Citra 10	1.384	1.413	1.842	90.027	101.787	107.580	141.582
Citra 11	590	687	972	82.389	95.898	104.094	141.060
Citra 12	376	644	965	74.364	86.979	100.719	140.607
Citra 13	176	235	481	50.271	57.105	98.430	145.095
Citra 14	136	212	364	55.584	61.122	98.535	142.377
Citra 15	5.735	5.736	5.814	94.827	119.325	105.306	144.693
Citra 16	7.873	7.874	7.983	102.456	130.305	107.832	147.372
Total	48.785	49.913	53.988	129.1779	1.545.417	1.654.458	2.308.116
Rata-rata	3.049	3.120	3.374	80.736	96.589	103.404	144.257

Selain melihat hubungan antara PSNR dengan kapasitas, analisis tekstur citra akibat penyisipan data juga dilakukan dalam penelitian ini. Analisis ini untuk melihat seberapa besar pengaruh penyisipan data terhadap tekstur citra. Adapun tekstur citra yang diamati adalah rerata, deviasi standar, *skewness*, energi, entropi dan kehalusan.

Pengaruh penyisipan data terhadap rerata citra, deviasi dan *skewness* dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan untuk energi, entropi dan kehalusan citra dapat dilihat pada Tabel 5.

Pengaruh ini hanya dilihat pada saat T optimum yaitu T=128 dengan E_b=2. Pengaruh ini dinyatakan dalam nilai dan dalam persen (%). Nilai yang dibandingkan adalah nilai dari citra pembawa (citra yang belum disisipkan data rahasia) dan nilai citra stego (citra pembawa yang disisipkan data rahasia).

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai rerata setelah penyisipan bisa bertambah ataupun berkurang. Rata-rata perubahan rerata yang terjadi adalah 0,3316%.

Tabel 4. Pengaruh Penyisipan Data terhadap Rerata, Deviasi dan *Skewness* Citra

Citra	Rerata			Deviasi			<i>Skewness</i>		
	Citra	Citra Stego		Citra	Citra Stego		Citra	Citra Stego	
	Pembawa		(%)	Pembawa		(%)	Pembawa		(%)
Citra 1	43,0027	43,4826	1,116	50,2751	49,9526	0,6415	2,0703	2,0658	0,2174
Citra 2	58,3894	58,8491	0,7873	55,0599	54,6605	0,7254	4,1047	4,0328	1,7517
Citra 3	105,8517	106,2764	0,4012	92,4435	92,0289	0,4485	-0,7279	-0,6791	6,7042
Citra 4	63,9851	63,9021	0,1297	33,2885	33,1136	0,5254	-0,3479	-0,3326	4,3978
Citra 5	94,3527	94,1932	0,169	49,4719	49,3947	0,156	-1,409	-1,3927	1,1568
Citra 6	61,268	61,1579	0,1797	32,8724	32,7541	0,3599	-0,3627	-0,3528	2,7295
Citra 7	52,8879	53,0301	0,2689	73,7024	73,5861	0,1578	7,6786	7,6596	0,2474
Citra 8	73,9415	73,7976	0,1946	57,0183	56,9702	0,0844	1,4622	1,4746	0,8480
Citra 9	82,9624	82,974	0,0140	62,0822	62,0542	0,0451	0,6833	0,6979	2,1367
Citra 10	155,9094	155,7023	0,1328	74,536	74,6476	0,1497	-5,8026	-5,8284	0,4446
Citra 11	169,3948	169,1815	0,1259	47,8829	47,9384	0,1159	-2,4382	-2,4399	0,0697
Citra 12	166,2494	166,1018	0,0889	24,1177	24,1704	0,2185	-0,093	-0,0932	0,2150
Citra 13	113,118	113,0964	0,0191	47,4619	47,4659	0,0084	-0,0165	-0,016	3,0303
Citra 14	115,4614	115,4676	0,0054	56,9947	57,0237	0,0509	0,1746	0,1744	0,1145
Citra 15	39,786	40,067	0,7063	51,4458	51,1791	0,5184	2,0208	2,0072	0,6730
Citra 16	49,853	50,3347	0,9662	66,826	66,4731	0,528	4,1277	4,0954	0,7826
Jumlah	1446,4134	1447,6143	5,3045	875,4792	873,4131	4,7339	11,1244	11,073	25,5194
Rata-rata	90,4008	90,47589375	0,3316	54,71745	54,5883	0,2959	0,6953	0,6921	1,595

Tabel 5. Pengaruh Penyisipan Data terhadap Energi, Entropi dan Kehalusan Citra

Citra	Energi			Entropi			Kehalusan		
	Citra	Citra Stego		Citra	Citra Stego		Citra	Citra Stego	
	Pembawa		(%)	Pembawa		(%)	Pembawa		(%)
Citra 1	0,1681	0,0563	66,5080	3,6637	4,1198	12,4492	0,0374	0,037	1,0695
Citra 2	0,4564	0,1393	69,4785	2,3108	3,1402	35,8923	0,0445	0,0439	1,3483
Citra 3	0,1106	0,038	65,642	4,0964	4,4612	8,9054	0,1162	0,1152	0,8606
Citra 4	0,0215	0,017	20,9302	4,2686	4,3354	1,5649	0,0168	0,0166	1,1905
Citra 5	0,0125	0,0117	6,4	4,7504	4,7671	0,3515	0,0363	0,0362	0,2755
Citra 6	0,0176	0,0157	10,7954	4,3503	4,3847	0,7907	0,0163	0,0162	0,6135
Citra 7	0,0674	0,0482	28,4866	4,1899	4,2817	2,191	0,0771	0,0769	0,2594
Citra 8	0,0088	0,0074	15,9091	5,1544	5,18	0,4967	0,0476	0,0475	0,2101
Citra 9	0,0092	0,0079	14,1304	5,1479	5,1719	0,4662	0,056	0,0559	0,1786
Citra 10	0,0168	0,0123	26,7857	4,7623	4,8344	1,514	0,0787	0,0789	0,2541
Citra 11	0,0155	0,0153	1,2903	4,6267	4,6354	0,188	0,0341	0,0341	0
Citra 12	0,013	0,0129	0,7692	4,4548	4,4594	0,1036	0,0089	0,0089	0
Citra 13	0,0063	0,0063	0	5,1485	5,1525	0,0777	0,0335	0,0335	0
Citra 14	0,0051	0,0051	0	5,3309	5,3344	0,0656	0,0476	0,0476	0
Citra 15	0,1268	0,052	58,9905	3,6644	3,9883	8,8391	0,0391	0,0387	1,0231
Citra 16	0,2358	0,0929	60,60228	3,2063	3,6444	13,6637	0,0643	0,0636	1,0886
Jumlah	1,2914	0,5383	446,7184	69,1263	71,8908	87,5594	0,7544	0,7507	8,3717
Rata-rata	0,0807	0,0336	27,9199	4,3204	4,4932	5,4725	0,0472	0,0469	0,5232

Nilai deviasi pun demikian, perubahan yang diakibatkan penyisipan bisa mengakibatkan naik atau turun. Rata-rata perubahan deviasi yang terjadi adalah 0,2959%. Perubahan nilai *skewness* juga relatif turun dengan rata-rata persentase yang lebih besar yaitu 1,595%.

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai energi setelah penyisipan berkurang bila dibandingkan dengan nilai energi sebelum penyisipan. Pengaruh penyisipan data sangat tinggi dengan rata-rata perubahan 27,9199%. Nilai entropi setelah penyisipan bertambah bila dibandingkan dengan nilai entropi sebelum penyisipan. Rata-rata kenaikan entropi citra setelah penyisipan mencapai 5,4725%. Penurunan nilai setelah penyisipan juga dialami untuk nilai kehalusan. Rata-rata penurunan nilai kehalusan 0,52%.

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 dapat dilihat bahwa penyisipan data sangat mempengaruhi tekstur citra terutama pada nilai energi, entropi dan *skewness*. Setiap citra memiliki dampak penyisipannya masing-masing dikarenakan karakteristik citranya masing-masing.

5. Kesimpulan

Steganografi dengan interpolasi berhasil menyembunyikan data ratusan ribu bit dengan tetap mempertahankan nilai PSNR. Citra dan data yang disembunyikan dan diinterpolasi dapat dikembalikan menjadi citra awal dan data medis yang terbaca bagi penerimanya. Nilai T dan E_b mempengaruhi besarnya kapasitas penyembunyian dan nilai PSNR. Setiap citra memiliki batasan nilai T masing-masing untuk mendapatkan kapasitas yang maksimum. Pada penelitian kali ini, nilai T yang optimum untuk mendapatkan kapasitas yang optimal adalah $T=128$ dengan rata-rata kapasitas 103.404 bit dan rata-rata PSNR adalah 41,8682 dB. penyisipan data sangat mempengaruhi tekstur citra terutama pada nilai energi, entropi dan *skewness*. Setiap citra memiliki dampak penyisipannya masing-masing dikarenakan karakteristik citranya masing-masing.

Daftar Pustaka

Acharya, R., D. Anand, S. Bhat, and U. C. Niranjan, 2001, Compact Storage of Medical Images with Patient Information, *IEEE Trans.*

Inf. Technol. Biomed., vol. 5, 320-323.

- Delp, E. J., 2005, Multimedia Security: The 22nd Century Approach!, *Proc. Workshop on Multimedia Systems*, vol. 11, 95-97.
- Fallahpour, M., D. Megias and M. Ghanbari., 2011, Reversible and High Capacity Data Hiding in Medical Images, *Image Processing IET*, vol. 5, 190-197.
- Jung, K.-H., and K.-Y. Yoo, 2012, Data Hiding using Edge Detector for Scalable Images, *Multimedia Tools Applications Springer Science+Business Media New York 2012*.
- Kumar, C. V., V. Natarajan, 2013, High Capacity Reversible Data Hiding Based on Histogram Shifting for Medical Images, in *Communications and Signal Processing (ICCSP)*, 730-733.
- Lee, C. F., C. C. Chan, P. Y. Pai, and W. H. Huang, 2010, An Effective Demosaicing Method for CFA Image, *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, vol. 6, 5485-5499.
- Lee, C. F., and W. T. Chang, 2010, Recovery of Color Images by Composed Associative Mining and Edge Detection, *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, vol. 1, 310-324.
- Lehmann, T. M., C. Gonner, and K. Spitzer, 1999, Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing, *IEEE Transactions on Image Imaging*, vol. 18, 1049-1075.
- Lou, D. C., M.C. Hu, and J. L. Liu., 2009, Multiple Layer Data Hiding Scheme for Medical Images, *Computer Standards and Interfaces*, 31, 329-335.
- Maeland, E., 1988, On The Comparison of Interpolation Methods, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 7, 213-217.
- Meneves, Alfred, P. C. v. Oorschot, and S. A. Vanstone., 1996, *Handbook of Applied Cryptography*.
- Shirali-Shahreza, M., 2006, A New Method for Real Time Steganography, *ICSP 2006 Proceedings of IEEE*.
- Thévenaz, P., T. Blu, and M. Unser, 2000, Interpolation Revisited, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 19, 739-758.
- Wang, H., and S. Wang, 2004, Cyber warfare: Steganography vs. Steganalysis, *Communications of the ACM*, 47:10.

Wei, Y., Y. Hao, and Y. Li., 2009, Multipurpose Digital Watermarking Algorithm of Color Image, *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation August 9-12.*