

IMPLEMENTASI WATERMARKING CITRA MEDIS MENGGUNAKAN ALGORITMA SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD) DAN KODE KOREKSI KESALAHAN REED SOLOMON (RS)

IMPLEMENTATION MEDICAL IMAGE WATERMARKING USING SINGULAR VALUE DECOMPOSITION(SVD) AND CORRECTING CODE OF ERROR REED SOLOMON(RS)

Rizka Savira¹, Dr.Ida Wahidah,S.T.,M.T.², M.Faris Ruriawan,S.T.,M.T.³.

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

³Prodi S1 Teknik Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹rizkasavira@student.telkomuniversity.ac.id, ²Wahidah@telkomuniversity.ac.id,

³muhammad.faris.ruriawan@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Watermarking dibutuhkan untuk melindungi data berupa gambar, audio, teks, video dengan cara menyisipkan informasi ke dalam data tersebut. *Watermark* memanfaatkan indera penglihatan manusia yang tidak bisa membedakan intensitas *pixel* yang hanya mengalami perubahan warna dengan variasi yang sangat kecil. Hal ini dimanfaatkan untuk menyisipkan *watermark* pada citra medis sehingga manusia tidak menyadari keberadaan *watermark* tersebut.

Pada penelitian ini digunakannya teknik *Singular Value Decomposition* (SVD) berdasarkan *Domain Spatial*. *Singular Value* dari suatu citra memiliki stabilitas yang baik, dimana ketika diberi serangan pada citra tersebut, *singular value* tidak berubah secara signifikan. Untuk teknik *Error Correcting Code*, tipe yang digunakan adalah *Reed Solomon*. Kelebihan *Reed Solomon* dibandingkan kode pendeteksi yang lain adalah *Reed Solomon* sangat efektif dalam melakukan pengoreksian sekaligus dalam beberapa bit (*burst error*).

Kesimpulan pada penelitian ini, citra ter-*watermark* menghasilkan nilai PSNR terbaik ketika menggunakan resolusi host yang besar dengan gain 0.1. Namun ketika citra ter-*watermark* diberikan serangan, citra *watermark* mengalami error yang cukup tinggi hal ini yang menyebabkan terjadinya perubahan informasi yang disisipkan. Sehingga dibutuhkan kode koreksi Reed Solomon untuk memperbaiki kesalahan. Di mana ketika Reed Solomon diimplementasikan pada sistem *watermarking* penelitian ini, kode koreksi Reed Solomon tidak *robust* terhadap serangan *scaling*, namun dapat meminimalisir error pada serangan rotasi pada derajat 90°, 180°, 270° dan pada serangan translasi pada titik koordinat [20,20] dan [40,40].

Kata kunci : *Watermarking, Singular Value Decomposition, Reed Solomon*

Abstract

Watermarking is needed to protect data in the form of images, audio, text, videos by inserting information into the data. *Watermarks* make use of the human senses that cannot distinguish the intensity of pixels which only changes color with very little variance. This is used to insert a watermark in a medical image so that humans are not aware of the existence of the watermark.

In this study the use of *Singular Value Decomposition* (SVD) techniques based on *Domain Spatial*. The *singular value* of an image has a good, where compilation is given an attack on the image, the *singular value* does not change significantly. For the *Error Code Correction* technique, the type used is *Reed Solomon*. The advantage of *Reed Solomon* compared to other detection codes is that *Reed Solomon* is very effective in correcting it in several bits (*burst error*).

The conclusion of this thesis, the watermarked image produces the best PSNR value when using a large host resolution with a gain of 0.1. However, when the watermarked image is given an attack, the watermarked image experiences a fairly high error, this causes changes in the inserted information. So you need the *Reed Solomon* correction code to fix the error. Where when *Reed Solomon* is implemented in this final project watermarking system, *Reed Solomon's* correction code is not robust against scaling attacks, but can minimize errors in rotational attacks at degrees 90°, 180°, 270° and at translational attacks at coordinate points [20, 20] and [40,40].

Key Words: *Watermarking, Singular Value Decomposition, Reed Solomon.*

1. Pendahuluan

Watermarking dibutuhkan untuk melindungi data berupa gambar, audio, teks, video dengan cara menyisipkan informasi ke dalam data tersebut [2]. Informasi yang disisipkan ke dalam data disebut *watermark*. *Watermark* bisa dianggap sebagai *digital signature* dari pemilik data yang sah. Teknik ini dapat digunakan tanpa merusak keaslian data. *Watermark* memanfaatkan indera penglihatan manusia yang tidak bisa membedakan intensitas piksel yang hanya mengalami perubahan warna dengan variasi yang sangat kecil [1]. Hal ini dimanfaatkan untuk menyisipkan *watermark* pada citra medis sehingga manusia tidak menyadari keberadaan *watermark* tersebut. Jika ada perubahan atau perusakan

pada citra medis dari pihak-pihak yang tidak berhak maka akan dapat diketahui. Cara yang dilakukan adalah dengan memeriksa *watermark* yang disisipkan. Ketika akan dilakukan pemeriksaan, *watermark* akan diekstraksi dari citra medis yang disisipi.

Untuk mendeteksi keaslian data terhadap manipulasi yang dilakukan maka dibutuhkan teknik *watermarking* dengan metode *Singular Value Decomposition* (SVD). *Singular Value Decomposition* (SVD) memodifikasi koefisien yang diperoleh dari dekomposisi nilai singular dari citra asli. Nilai singular memiliki stabilitas yang baik, sehingga jika diberikan sedikit gangguan pada citra tersebut, nilai singular tidak berubah secara signifikan. Dan untuk mendeteksi terjadinya kesalahan maka digunakan *Reed Solomon* (RS). *Reed Solomon* sangat efektif dalam melakukan pengoreksian sekaligus dalam beberapa bit (*burst error*) dan memiliki kemampuan koreksi lebih banyak karena data diolah dalam simbol.

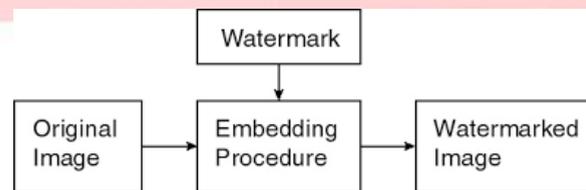
2. Dasar Teori

2.1 Citra Medis

Citra medis merupakan citra yang merepresentasikan bagian dalam tubuh manusia. Ini digunakan untuk membantu dokter dalam melakukan diagnosis terhadap pasiennya. Jenis citra medis bisa di dapatkan dari hasil X-Ray, hasil USG, hasil CT-Scan, dll. Karena perkembangan teknologi yang sudah maju, citra medis disajikan dalam bentuk digital sehingga besar peluang terjadinya perubahan informasi pada saat proses pendistribusiannya yang dilakukan oleh pihak-pihak yang tidak berhak. Oleh karena itu dibutuhkan perlindungan terhadap citra medis dalam format digital.

2.2 Teknik Embedding Watermarking

Watermarking adalah suatu teknik menyisipkan data informasi ke dalam berbagai jenis data seperti teks, gambar, audio dan video. Di mana, *watermarking* merupakan suatu metode proteksi hak cipta yang bertujuan untuk menanggulangi penyebaran informasi secara ilegal. *Watermark* yang telah disisipi bisa rusak karena serangan objek online dapat di proses secara digital. Serangan bisa secara tidak disengaja, maka *watermark* harus sangat kuat terhadap semua serangan yang mungkin.



Gambar 2.1 Ilustrasi Watermarking

Teknik *watermarking* yang digunakan untuk proses embedding dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Spatial Domain Watermarking

Spatial Watermarking menyematkan informasi *watermarking* ke dalam nilai piksel dari host untuk menjaga kualitas gambar. Metode SVD merupakan salah satu contoh dari *Spatial Domain Watermarking*.

b. Transformasi Domain Frekuensi Watermarking

Dalam *Transformation Domain Frequency Watermaking*, sebelum *embedding* watermark *Discrete Cosine Transform* (DCT), *Discrete Fourier Transform* (DFT), *Discrete Wavelet Transform* (DWT) diterapkan ke citra host untuk menghasilkan koefisien domain transformasi. Gambar *ter-watermark* diperoleh dengan memodifikasi koefisien transformasi ini [1].

2.3 Singular Value Decomposition

Singular Value Decomposition adalah transformasi aljabar linear yang digunakan untuk faktorisasi dari matriks yang bernilai real maupun kompleks di berbagai bidang pengolahan gambar [7]. Sebagai digital gambar dapat diwakili dalam bentuk matriks dengan memberikan nilai intensitas pada setiap piksel dalam gambar [8]. SVD dikenal sebagai teknik yang sangat kuat, berkenaan dengan penyelesaian masalah matrix, baik singular maupun numerik mendekati singular [9]. SVD populer dalam watermarking karena beberapa *singular value* dapat mewakili besar sinyal energy dan *singular value* suatu gambar tahan terhadap noise karena *singular value* tidak berubah secara signifikan ketika diberi serangan [10].

2.4 Reed Solomon (RS)

Kode *Reed Solomon* adalah sekelompok kode koreksi kesalahan yang diperkenalkan oleh Irving S. Reed dan Gustave Solomon pada tahun 1960. Kode digunakan untuk kompresi data, kriptografi, kode pengkoreksi error (*error correcting code*), dan untuk *network coding*. Tujuan dari teori pengkodean untuk memberikan kode dengan tingkat informasi yang tinggi dengan tingkat kompleksitas *encoding* dan *Decoding* yang rendah.

Reed Solomon biasanya ditulis dalam bentuk RS(n,k). Beroperasi pada blok data yang diperlakukan sebagai satu set elemen bidang berhingga yang disebut dengan simbol. *Reed Solomon* dapat mendeteksi dan memperbaiki sampai sebanyak t simbol error dalam sebuah *code word* dimana $2t = n - k$. Untuk sebuah simbol dengan panjang m , panjang maksimum *code word* (n) dalam sebuah *code word* adalah $n = 2^m - 1$. Dengan penjelasan sebagai berikut:

$$\alpha^i \alpha^j (\alpha^k, \alpha^l)$$

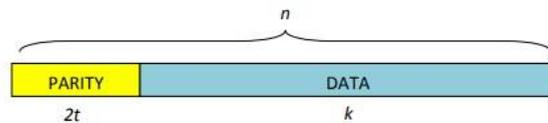
(2.1)

Dengan:

$$n = 2^m - 1$$

m = panjang simbol

n = jumlah total simbol dalam sebuah codeword
 k = jumlah simbol yang akan di-encode
 n - k = 2t = panjang parity



Gambar 2. 2 Ilustrasi codeword.

3. Perancangan Sistem

3.1 Gambaran Umum Sistem

Secara umum model sistem yang akan dirancang untuk penelitian dapat dilihat pada gambar berikut:



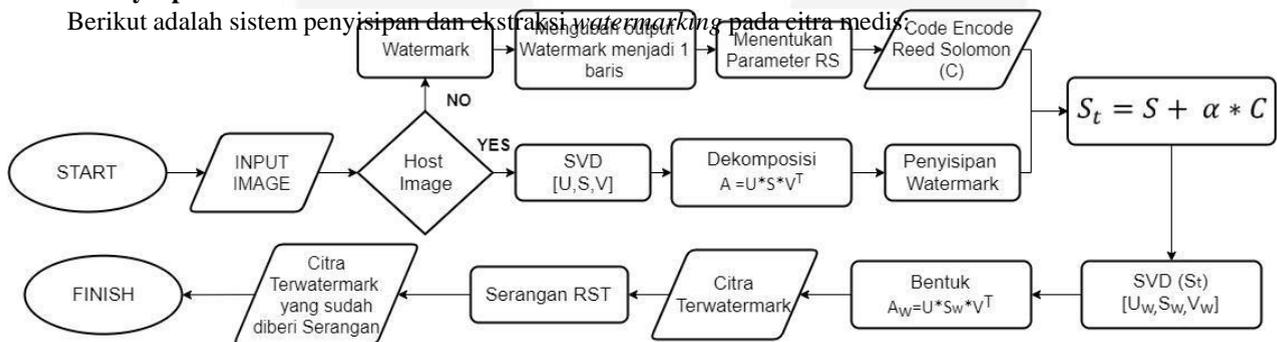
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Secara Umum.

Pada Gambar 3.1 terlihat bahwa sistem watermarking yang dilakukan terbagi menjadi tiga proses yaitu proses penyisipan, proses serangan dan proses ekstraksi. Pada proses penyisipan, citra watermark akan disisipkan ke dalam citra host. Output dari blok ini adalah citra ter-watermark. Citra ter-watermark diuji kehandalannya dengan serangan berupa serangan rotasi, serangan scaling dan serangan translasi. Hasil output dari blok ini adalah citra ter-watermark yang telah diserang. Kemudian, citra yang sudah diberikan serangan akan diekstrak pada blok ekstraksi. Karena jenis watermarking yang digunakan non blind maka diperlukan citra host asli dan citra watermark asli untuk merekonstruksi citra watermark hasil ekstraksi tersebut.

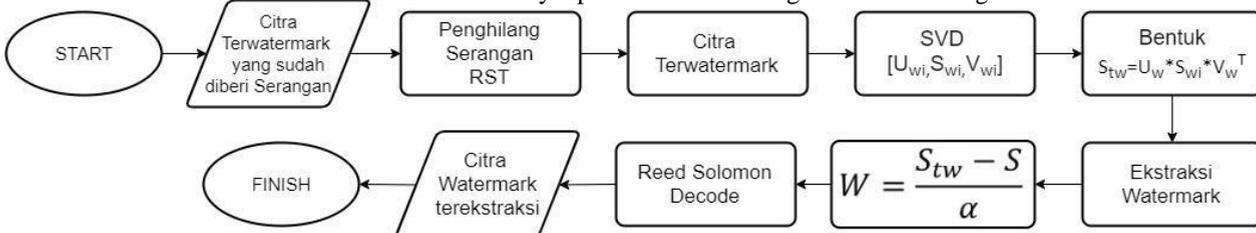
3.2 Perancangan Sistem

3.2.1 Penyisipan dan Ekstraksi Watermark

Berikut adalah sistem penyisipan dan ekstraksi watermarking pada citra medis



Gambar 3.2 Alur Proses Penyisipan Watermark dengan RS dan Serangan.



Gambar 3.3 Alur Proses Ekstraksi Watermark dan Serangan.

Pada Gambar 3.2 terdapat dua buah masukan yang akan di proses yaitu citra host dan citra watermark. Penyisipan matriks dilakukan dengan teknik SVD ke dalam matriks citra host dengan cara mendekomposisi matriks citra host menjadi matriks U, S dan V. Pada citra watermark diberi Error Correcting Code (ECC) jenis Reed-Solomon encoder (RS) untuk melindungi dan meningkatkan ketahanan dari citra watermark. Citra watermark diubah menjadi 1 baris untuk menentukan nilai (n,k) Reed Solomon. Citra watermark harus menjalani proses penambahan bit dengan reed Solomon encoder, setelah ditambahkan bit bit untuk error correcting bit, didapatkan nilai C yang disisipkan ke dalam citra host

yang sudah di dekomposisi oleh SVD. Nilai singular S ditambahkan dengan nilai C dari proses *Reed Solomon* dan dekomposisikan kembali untuk mendapatkan nilai S_t yang baru. Dari nilai S_t , bentuk citra terwatermark dari S_w dan U, V dari citra asal. Citra ter-watermark diberi serangan untuk menguji ketahanannya.

Dari **Gambar 3.3** dapat dilihat bahwa citra keluaran merupakan hasil dari proses penyisipan yaitu citra ter-watermark dan sudah diberi serangan RST. Pada proses ini serangan dihilangkan pada citra untuk mendapatkan citra terwatermark kembali. Citra terwatermark merepresentasikan suatu matriks dengan tiga komponen, yaitu matriks orthogonal U_{wi} , matriks diagonal S_{wi} dan matriks transpose V_{wi} . Selanjutnya membentuk nilai singular S_{tw} di mana nilai ini dibentuk dari perkalian matriks orthogonal U_w , matriks diagonal S_{wi} dan matriks transpose V_w . Untuk mendapatkan watermark yang telah disisipi pada citra, nilai S_{tw} yang didapatkan di kurangi dengan matriks S citra host dan dibagi dengan nilai alfa. Setelah mendapatkan watermark, masuk ke proses *Reed Solomon Decoding* di mana, proses ini dilakukan untuk menentukan jumlah bit error pada citra.

3.3 Serangan Pada Citra Terwatermark

Untuk mengetahui tingkat ketahanan dari citra yang terwatermark maka dilakukan simulasi dengan memberikan beberapa jenis serangan yang dapat mempengaruhi citra.

1. Rotasi

Rotasi dilakukan biasanya dengan derajat perputaran yang sangat kecil, sehingga citra tampak tidak berubah. Namun karena perputaran yang sangat kecil, watermark menjadi tidak dapat terdeteksi.

2. Scaling

Scaling dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu *uniform* dan *non-uniform*. *Scaling uniform* mengubah citra dengan *factor* skala yang sama baik *vertical* maupun *horizontal*. Sedangkan pada *scaling non-uniform factor* skala *vertical* dan *horizontal* berbeda. Pada penelitian ini jenis *scaling* yang digunakan adalah *scaling uniform*.

3. Translasi

Translation merupakan salah satu serangan geometri, di mana serangan ini menggeser gambar yang sudah di tanami watermark dengan jumlah piksel tertentu ke arah x atau y , atau keduanya [17].

4. Implementasi dan Pengujian Sistem

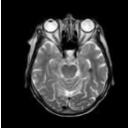
4.1 Skenario Pengujian

Sistem *watermarking* yang dilakukan terdiri dari dua *scenario* pengujian yaitu pengujian sistem *embedding* dan pengujian sistem *extraction*.

Pengujian *embedding* yang dilakukan pada *watermarking* citra medis ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai dari parameter PSNR. Nilai PSNR yang dapat ditoleransi sekitar 40dB. Pengujian dilakukan dengan cara merubah salah satu nilai parameter, sehingga pengaruh perubahan parameter tersebut dapat dianalisa.

Citra host yang digunakan berupa citra medis berjenis RGB yang di ubah menjadi *grayscale* dengan berbagai macam resolusi. Citra host digunakan sebagai media yang akan disisipi citra *watermark*. Berikut citra host yang digunakan pada pengujian penelitian ini:

Tabel 4.1 Citra Host

			
Rongent Gigi	USG	CT-Scan Otak	Rongent Dada

Selain 5 citra host yang diujikan, pada pengujian juga menggunakan 2 *watermark image*. Citra *watermark* Yin dan Yang beresolusi 16×16 piksel berjenis biner yang akan disisipi pada citra host. Berikut *watermark image* yang digunakan:

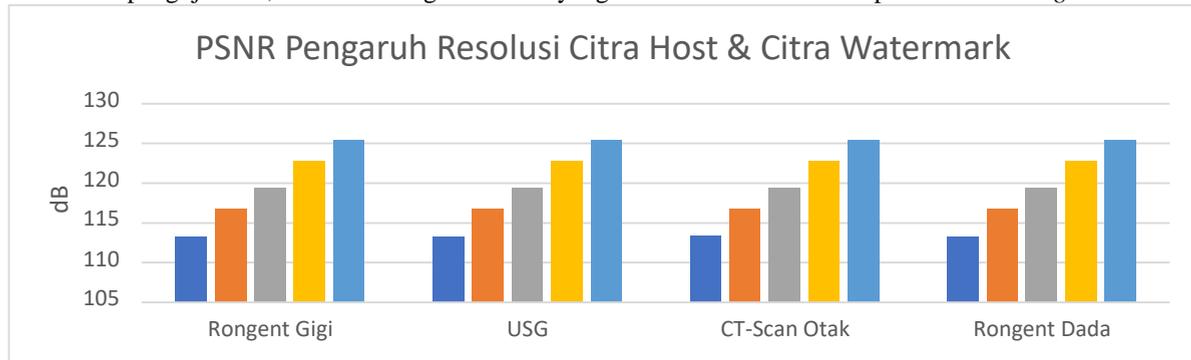
Tabel 4.2 Citra Watermark



Pada *scenario* pengujian ini, dilakukan pengujian sistem yang telah dibuat untuk mengetahui pengaruh proses *embedding* dari *watermarking* terhadap parameter performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas rekonstruksi citra di mana jika nilai PSNR kurang dari 40 dB maka kualitas rekonstruksi citra tidak bagus/rendah, dan sebaliknya jika nilai PSNR lebih dari 40dB maka kualitas hasil rekonstruksi citra bagus/ tinggi. Pada pengujian ini ada 5 resolusi yang digunakan. Resolusi tersebut berukuran: 512×512 , 768×768 , 1024×1024 , 1536×1536 dan 2048×2048 .

4.2.1 Pengujian parameter resolusi citra host

Pada pengujian ini, citra host dengan resolusi yang berbeda akan dilakukan proses *embedding watermark*.

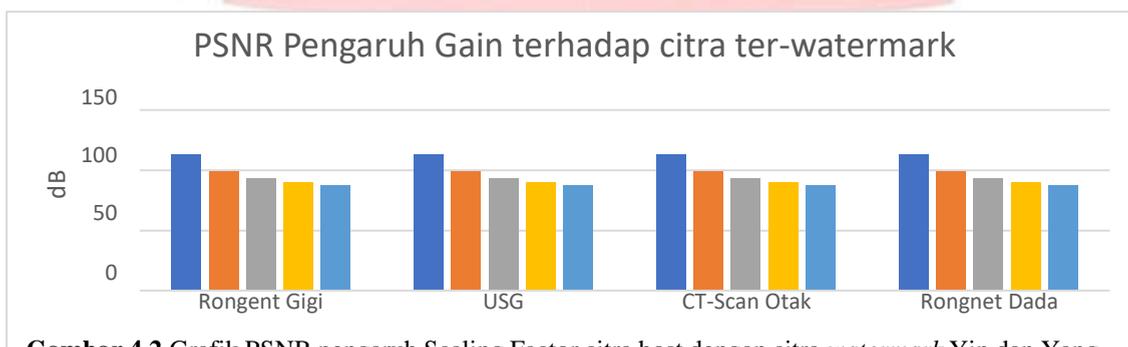


Gambar 4.1 Grafik PSNR dari pengaruh resolusi citra host dengan citra watermark Yin dan Yang .

Berdasarkan **Gambar 4.1** dapat disimpulkan bahwa nilai PSNR yang didapatkan sangat bagus berada pada nilai 110 -120 dB. Semakin besar resolusi citra host maka semakin tinggi nilai PSNR, maka pada resolusi 2048×2048 nilai PSNR lebih tinggi dari pada nilai PSNR resolusi 512×512. Hal ini terjadi karena perbandingan ukuran resolusi citra host dengan ukuran resolusi citra *watermark* yang cukup besar, karena semakin besar piksel dari citra host maka semakin besar juga cakupan yang dapat disisipkan tiap bit *watermark*.

4.2.2 Pengujian gain SVD terhadap performansi *impercibility* citra host.

Pada pengujian ini dilakukan penyisipan *watermark* dengan nilai gain yang berbeda-beda yaitu: 0.1, 0.5, 1, 1.5 dan 2 sehingga didapatkan data perbandingan pengaruh gain pada hasil citra ter-*watermark*. Resolusi citra host yang digunakan berukuran 512×512 piksel.



Gambar 4.2 Grafik PSNR pengaruh Scaling Factor citra host dengan citra *watermark* Yin dan Yang.

Berdasarkan data **Gambar 4.2** untuk proses gain *embedding* citra host dengan citra *watermark*, menghasilkan citra ter-*watermark* terbaik pada nilai gain 0.1 karena memiliki nilai PSNR tertinggi sebesar 113 dB. Hal ini di karenakan gain merupakan *watermark strength*, sehingga semakin tinggi nilai gain maka hal itu menurunkan kualitas citra ter-*watermark*. Dan sebaliknya, semakin kecil nilai gain maka kualitas citra ter-*watermark* meningkat.

4.3 Pengujian Ketahanan watermark terhadap serangan *Rotate*

Data yang digunakan pada pengujian ini adalah Citra ter-*watermark* akan diberikan serangan rotasi sebesar: 3°, 45°, 90°, 180°, 270° dan 357°. Berikut ini merupakan tabel dari pengaruh serangan rotasi terhadap citra ter-*watermark* dengan parameter BER.

Tabel 4.3 Pengaruh Serangan Rotasi terhadap citra terwatermark.

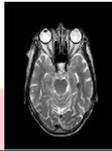
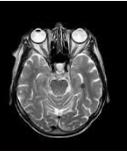
Citra Host	BER (%)					
	3°	45°	90°	180°	270°	357°
CT-Scan Otak						
	BER = 31,34%	BER = 46,48%	BER = 29,30%	BER = 30,47%	BER = 29,30%	BER = 31,34%

Pada **Tabel 4.4**, nilai BER dari citra ter-*watermark* yang sudah diberi serangan rotasi mengalami kenaikan sekitar 30-46%. Hal ini berarti, serangan rotasi menambah kerusakan pada citra *watermark* yang sudah diekstraksi, sehingga citra *watermark* ekstraksi yang sudah diberi serangan tidak sama seperti citra *watermark* asli. Nilai BER tertinggi terdapat pada serangan rotasi 45° yaitu 46,48% dan nilai BER terendah terdapat pada serangan rotasi 90° dan 270°. Hal ini terjadi karena perputaran sudut rotasi yang mengakibatkan terjadinya perubahan ukuran piksel pada citra ter-*watermark*. Ketika citra diberikan serangan 45°, ukuran piksel citra ter-*watermark* yang seharusnya berukuran 512×512 piksel. Sehingga citra menjadi 256×256 piksel. Ketika citra diberikan serangan 90°/270° yang seharusnya berukuran 512×512 piksel. Sehingga citra menjadi 512×256 piksel. Ketika citra diberikan serangan 190°/170° yang seharusnya berukuran 512×512 piksel. Sehingga citra menjadi 256×512 piksel. Ketika citra diberikan serangan 135°/225° yang seharusnya berukuran 512×512 piksel. Sehingga citra menjadi 512×256 piksel.

4.4 Pengujian Ketahanan watermark terhadap serangan *Scaling*

Data yang digunakan pada pengujian ini adalah Citra ter-*watermark* akan diberikan serangan *scaling* : 256×256, 512×288, 512×384 dan 1024×1024.

Tabel 4.4 Pengaruh Serangan *Scaling* terhadap citra terwatermark logo Tel-U.

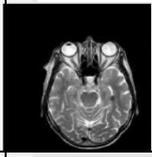
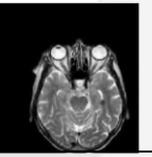
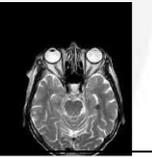
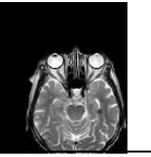
Citra Host	BER (%)			
	256×256	512×288	512×384	1024×1024
CT-Scan Otak				
	 BER = 31,64%	 ER = 46,48%	 ER = 29,30%	 BER = 30,47%

Pada **Tabel 4.4**, terdapat perbedaan nilai BER, di mana nilai BER dengan serangan *scaling* mencapai 44%, hal ini berarti tingkat ketahanan citra *watermark* sangat rendah. Berdasarkan tabel nilai BER, citra *watermark* tidak robust terhadap serangan *scaling* karena nilai BER ≥ 10% dan menambah kerusakan pada citra *watermark* yang sudah diekstraksi.

4.5 Pengujian Ketahanan watermark terhadap serangan *Translation*

Data yang digunakan pada pengujian ini adalah citra ter-*watermark* dari citra host CT-Scan Otak berukuran 512×512 piksel. Citra ter-*watermark* tersebut akan diberikan serangan *translation* : [20 20], [40 40], [50 50], [60 60] dan [80 80]. Berikut ini merupakan tabel dari pengaruh serangan translasi terhadap citra ter-*watermark*.

Tabel 4.5 Pengaruh Serangan *Scaling* terhadap citra terwatermark logo Tel-U.

Citra Host	BER (%)				
	[20 20]	[40 40]	[50 50]	[60 60]	[80 80]
CT-Scan Otak					
	 BER = 34,38%	 ER = 30,47%	 ER = 31,64%	 BER = 31,64%	 BER = 31,64%

Pada **Tabel 4.5**, nilai BER dengan serangan translasi mencapai 34%, hal ini berarti tingkat ketahanan citra *watermark* sangat rendah. Hal ini terjadi karena pergeseran titik koordinat (x,y) yang jauh dari titik pusat koordinat. Karena pergeseran titik koordinat ini yang menyebabkan adanya perubahan pada citra ter-*watermark*. Sehingga terdapat nilai BER ≥ 10%.

4.7 Pengujian Kemampuan Kode Koreksi Reed Solomon

4.7.1 Pengujian Kemampuan Kode Koreksi Reed Solomon terhadap Serangan Rotasi

Pada pengujian ini digunakan 3 kode Reed Solomon dengan (n,k) yang berbeda, yaitu: RS(31,27), RS(63,55) dan RS(255,239). Data yang digunakan pada pengujian ini adalah Citra ter-*watermark* akan diberikan serangan rotasi sebesar: 3°, 45°, 90°, 180°, 270° dan 357°.

Tabel 4.7 Kemampuan Kode Koreksi RS terhadap serangan Rotasi.

Attack	BER(%)			
	Tanpa RS	RS(31,27)	RS(63,55)	RS(255,239)
3°	31.64%	51.95%	52.34%	55.08%
45°	46.48%	46.48%	46.48%	46.48%
90°	29.30%	5.86%	6.64%	15.23%
180°	30.47%	5.86%	6.64%	15.23%
270°	29.30%	5.86%	6.64%	15.23%
357°	31.64%	46.48%	46.48%	49.21%

Data pada **Tabel 4.7** menunjukkan bahwa terdapat perbandingan nilai BER pada citra ter-*watermark* diberi serangan rotasi sebesar 90°, 180°, 270°. Ketika citra ter-*watermark* diberi serangan tanpa menggunakan RS nilai BER mencapai 30%, dan ketika citra ter-*watermark* diberi serangan dengan RS nilai BER mencapai 5-15%. Hal ini membuktikan bahwa kode koreksi RS meminimalisir terjadinya error pada citra. kode RS(31,27) dan kode RS(63,55) memiliki nilai $BER \leq 10\%$ tetapi kode RS(255,239) memiliki nilai $BER > 10\%$, hal ini berarti kode RS(31,27) dan kode RS(63,55) lebih efektif digunakan untuk serangan rotasi dari pada kode koreksi RS(255,239). Namun ketika citra ter-*watermark* diberi serangan rotasi sebesar 3°, 45° dan 357°, kode koreksi RS tidak dapat memulihkan citra *watermark*. Hal ini dikarenakan terjadinya perubahan ukuran piksel pada citra ter-*watermark* yang sudah diberi serangan rotasi. Karena perubahan ukuran piksel ini, terjadi perubahan posisi pada bit-bit informasi pada citra.

4.7.2 Pengujian Kemampuan Kode Koreksi Reed Solomon terhadap Serangan scaling

Pada pengujian ini digunakan 3 kode Reed Solomon dengan (n,k) yang berbeda, yaitu: RS(31,27), RS(63,55) dan RS(255,239). Data yang digunakan pada pengujian ini adalah Citra ter-*watermark* akan diberikan serangan *scaling* sebesar: 256×256, 512×288, 512×384, dan 1024×1024. Berikut ini merupakan tabel dari kemampuan kode koreksi Reed Solomon terhadap serangan *scaling* dengan parameter BER.

Tabel 4.8 Kemampuan Kode Koreksi RS terhadap serangan Scaling.

Attack	BER(%)			
	Tanpa RS	RS(31,27)	RS(63,55)	RS(255,239)
256×256	44,63%	46,48%	46,48%	46,48%
512×288	44,09%	46,48%	46,48%	46,48%
512×384	44,53%	46,48%	46,48%	46,48%
1024×1024	44,97%	46,48%	46,48%	46,48%

Berdasarkan data pada **Tabel 4.8**, kode RS tidak *robust* terhadap serangan *scaling*. Nilai BER yang dimiliki oleh kode RS(31,55), kode RS(63,55) dan kode RS(255,239) memiliki nilai BER lebih tinggi dari pada nilai BER yang tidak menggunakan kode RS. Dimana ketika citra ter-*watermark* diberikan serangan *scaling*, nilai BER *watermark* ekstraksi tanpa menggunakan RS mencapai 44%, sedangkan nilai BER *watermark* ekstraksi yang menggunakan kode koreksi RS mencapai 46%. Berdasarkan perbandingan pada **Tabel 4.10** nilai BER *watermark* ekstraksi dengan kode RS lebih tinggi daripada nilai BER yang tidak menggunakan kode RS. Hal ini terjadi karena bit informasi penyisipan menggunakan RS dalam bentuk vektor, ketika terjadi perubahan ukuran piksel citra ter-*watermark* maka bit informasi mengalami perenggangan. Sehingga ketika dilakukan proses ekstraksi, bit informasi tidak dapat kembali seperti semula.

4.7.3 Pengujian Kemampuan Kode Koreksi Reed Solomon terhadap Serangan translasi

Data yang digunakan pada pengujian ini adalah Citra ter-*watermark* akan diberikan serangan *translation* sebesar: [20 20], [40 40], [50 50], [60 60] dan [80 80].

Tabel 4.6 Kemampuan Kode Koreksi RS terhadap serangan Scaling.

Attack	BER(%)			
	Tanpa RS	RS(31,27)	RS(63,55)	RS(255,239)
[20 20]	34,38%	5,86%	6,64%	15,23%
[40 40]	30,47%	5,86%	6,64%	15,23%
[50 50]	31,64%	45,70%	49,61%	55,47%
[60 60]	31,64%	45,31%	46,48%	51,17%
[80 80]	31,64%	46,48%	46,48%	49,22%

Berdasarkan data pada **Tabel 4.9** kode RS dapat meminimalisir error dari serangan translasi sejauh [40 40]. Nilai BER kode RS(31,27) dan RS(63,55) $\leq 10\%$, sedangkan nilai BER kode RS(255,239) $> 10\%$. Hal ini berarti kode koreksi RS optimal digunakan ketika diberikan serangan *translation* sebesar [40 40]. Namun ketika citra ter-*watermark* diberikan serangan *translation* [50 50],[60 60], dan [80 80], kode koreksi RS tidak dapat memulihkan kembali citra *watermark*. Hal ini terjadi karena semakin jauh titik koordinat(x,y) dari titik pusat, maka bit informasi pada citra ter-*watermark* ikut bergeser.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin besar resolusi citra host maka semakin tinggi nilai PSNR, maka pada resolusi 2048x2048 nilai PSNR lebih tinggi dari pada nilai PSNR resolusi 512x512. Hal ini terjadi karena perbandingan ukuran resolusi citra host dengan ukuran resolusi citra watermark yang cukup besar, karena semakin besar piksel dari citra host maka semakin besar juga cakupan yang dapat disisipkan tiap bit *watermark*.
2. Nilai gain adalah 0.1 karena memiliki nilai PSNR tertinggi sebesar 116 dB. Hal ini dikarenakan *scaling factor* merupakan *watermark strength*, sehingga semakin tinggi nilai *scaling factor* maka hal itu menurunkan kualitas citra terwatermark.
3. Nilai BER dari citra terwatermark yang sudah diberi serangan rotasi mengalami kenaikan sekitar 30-46%. Hal ini berarti, serangan rotasi menambah kerusakan pada citra watermark yang sudah diekstraksi.
4. Nilai BER dengan serangan *scaling* mencapai 44%, hal ini berarti tingkat ketahanan citra *watermark* sangat rendah.
5. Nilai BER dengan serangan translasi mengalami kenaikan mencapai 34%. Kenaikan nilai BER ini terjadi karena pergeseran titik koordinat (x,y) yang jauh dari titik pusat koordinat.
6. Kode koreksi Reed Solomon tidak robust pada serangan *scaling*.
7. Dari 3 kode koreksi yang digunakan, kode koreksi RS(31,27) dan (63,55) lebih optimal dalam melakukan koreksi kesalahan dari pada kode koreksi RS(255,239). Karena nilai BER yang didapatkan saat menggunakan kode koreksi RS(31,27) dan (63,55) $\leq 10\%$, sedangkan pada saat menggunakan kode koreksi RS(255,239) $> 10\%$.

5.1 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis citra medis yang menggunakan format DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine).
2. Menggunakan ukuran watermark lebih besar.
3. Sistem dapat dikembangkan dengan melakukan pengujian menggunakan saluran kanal.

Daftar Pustaka

- [1] Vinita, Gupta; Atul, Brave;, *A Review on Image Watermarking and its technique*, vol. 2, no. 1, pp. 72-81, 2014.
- [2] Seyed, Mojtaba Mousavi; Alireza, Naghsh; S.A.R, Abu-Bakar;, *Watermarking Techniques used in Medical Images: a Survey*, vol. 27, no. 6, pp. 714-729, 2014.
- [3] Al-Haj, Ali;, "A Hybrid Digital Image Watermarking Algorithm," in *2007 Innovations in Information Technologies (IIT)*, Dubai, 2007.
- [4] Pathak, Yatindra; Dehariya, Satish;, "A more secure transmission of medical images by two label DWT and SVD based watermarking technique," in *2014 International Conference on Advances in Engineering & Technology Research (ICAETR - 2014)*, Unnao, India, 2014.
- [5] Digdoyo, Prahadi; Gonydjaja, Rosny; Mutiara, Rina Refianti;, "PENYISIPAN WATERMARK PADA CITRA GRAYSCALE BERBASIS SVD," 2017.
- [6] Rathi, Nilesh; Holi, Ganga;, "Securing Medical Images by Watermarking Using," *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, vol. X, no. Y, p. 3, 2014.
- [7] Dwi Utami, Eva Yovita; Saelau, Liang Arta; Febrianto, Andreas A;, *Perbandingan Bit Error Rate Kode Reed-Solomon dengan Kode Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Menggunakan Modulasi 32-FSK*, vol. 5, no. 3, p. 422, 2016.