

WATERMARKING CITRA MEDIS BERBASIS INTEGER WAVELET TRANSFORM, DISCRETE COSINE TRANSFORM, DAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION

Medical Image Watermarking Based On Integer Wavelet Transform, Discrete Cosine Transform, And Singular Value Decomposition

Rizky Alvarez Siregar¹, Rita Purnamasari², Ledy Novamizanti³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹rizkyalvarez@student.telkomuniversity.ac.id, ²ritapurnamasari@telkomuniversity.ac.id,

³ledyaldn@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Teknik *watermarking* pada citra medis bertujuan untuk memberikan pengamanan dan autentikasi kepemilikan citra medis. Kualitas skema *watermarking* yang penting pada citra medis adalah dapat mengembalikan citra medis dengan sempurna dan tahan terhadap berbagai serangan. Pada proses penyematan citra medis dilakukan tahapan IWT dahulu untuk menentukan *subband* frekuensi yang digunakan, setelah itu diproses dengan teknik DCT dan SVD. Sedangkan untuk *watermark* dilakukan teknik DCT dan SVD. Skema *watermarking* yang diusulkan memiliki klasifikasi *reversible*. Hasil dari penelitian Tugas Akhir ini adalah teknik *watermarking* menggunakan metode IWT-DCT-SVD. Kualitas *watermarking* ditinjau dengan empat parameter, yaitu *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), *Structural Similarity Index Metric* (SSIM), *Normalized Correlation* (NC), dan *Bit Error Rate* (BER). Dari skema yang diusulkan memperoleh PSNR tertinggi 64,4 dB, SSIM tertinggi 1, maksimum NC 1 dan maksimum BER 0 yang berarti skema yang diusulkan *reversible* dan *robustness* yang baik. Sistem *watermarking* yang diusulkan tahan terhadap serangan seperti *noise salt & pepper*, *noise speckle*, *gaussian noise*, *sharpening*, dan *blurring*.

Kata Kunci: *Discrete Cosine Transform (DCT), Integer Wavelet Transform (IWT), Medical Image, Singular Value Decomposition (SVD), Watermark.*

Abstract

The watermarking technique on medical images aims to provide security and authentication of medical image ownership. The quality of the watermarking scheme that is important in medical images is that it can restore medical images perfectly and is resistant to various attacks. In the medical image embedding process, the IWT stage is carried out first to determine the frequency subband used, after that, it is processed using DCT and SVD techniques. As for the watermark, the DCT and SVD techniques were used. The proposed watermarking scheme has a reversible classification. The result of this final project is a watermarking technique using the IWT-DCT-SVD method. The quality of watermarking is reviewed with four parameters, namely Peak Signal to Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Metric (SSIM), Normalized Correlation (NC), and Bit Error Rate (BER). From the proposed scheme, the highest PSNR is 64,4 dB, the highest SSIM is 1, NC maximum is 1 and BER maximum is 0 which means the proposed scheme is reversible and has good robustness. The proposed watermarking system is resistant to attacks such as salt & pepper noise, noise speckle, gaussian noise, sharpening, and blurring.

Kata Kunci: *Discrete Cosine Transform (DCT), Integer Wavelet Transform (IWT), Medical Image, Singular Value Decomposition (SVD), Watermark.*

1. Pendahuluan

Watermarking terdiri dari proses *embedding* dan *extraction*. Proses *embedding* adalah penyematan pemasukkan informasi ke dalam citra *host*. Sedangkan *extraction* proses pengambilan informasi yang telah dimasukkan ke dalam citra *host* [1]. Pada penelitian sebelumnya digunakan metode IWT-DCT, dengan metode ini menghasilkan watermark dengan klasifikasi *Imperceability* dan *robustness*, namun metode ini memiliki beberapa kendala terhadap jenis serangan [2]. Penelitian lain mengusulkan menggunakan SVD dengan kombinasi dengan teknik *wavelet* yaitu DWT-SVD [3]. Dari hasil yang diperoleh memiliki *imperceability* yang baik dimana PSNR yang didapatkan diatas 43 dB dan hasil ekstraksi yang diperoleh menunjukkan proses yang baik pada citra *medical image*. Menggunakan metode SVD pada spasial domain dan Arnold transform dilakukan pada paper [4]. Pada penelitian ini SVD memberikan ketahanan yang baik dan keamanan yang tinggi terhadap skema yang dilakukan. Hasil akhir dari skema yang dirancang memberikan keamanan pada watermark, sehingga menghasilkan watermark klasifikasi *robust* dan *blind*. Namun metode ini memiliki kelemahan terhadap beberapa jenis serangan seperti *gaussian noise* dan *speckle noise*.

Paper utama dari Tugas Akhir ini mengacu oleh *G.Nagaraju*, dkk [5]. Sehingga pada Tugas Akhir ini metode yang diusulkan dengan menggunakan IWT-DCT dan SVD. Perbedaan pada penelitian tugas akhir dan *paper* acuan adalah citra yang digunakan citra medis, menambahkan metode SVD dan skema yang diusulkan memiliki klasifikasi *reversible* dan *robustness*. Metode IWT diusulkan karena pada penelitian [5] menyatakan bahwa IWT memiliki *imperceability* yang baik, selain itu pada penelitian [4]. IWT merupakan teknik *reversible* yang baik digunakan pada citra medis. IWT juga memiliki keunggulan dari pada transformasi *wavelet* lain seperti DWT, dimana metode IWT lebih cepat karena hanya menggunakan bilangan bulat saja. IWT dapat membagi *subband* rendah (*Low Low*) dan *subband* tinggi (*Low High, High Low, High High*). Frekuensi *subband* yang dipilih adalah HH karena memberikan tingkat *detail* yang baik pada citra. Selanjutnya metode yang digunakan DCT, pada *paper* acuan menunjukkan bahwa kombinasi dari metode IWT-DCT memberikan *imperceability* yang baik dan DCT sendiri adalah metode yang memiliki tingkat *visibility* baik. Selanjutnya digunakan *Singular Value Decomposition (SVD)*, metode ini memiliki keunggulan yaitu tingkat keamanan yang baik karena dalam memasukkan suatu informasi kepada citra tidak mengubah nilai singularnya yang signifikan. Hasil dari skema metode yang diusulkan adalah *watermarking* dapat mengembalikan citra medis ekstraksi dan *watermark* ekstraksi sempurna dan tahan terhadap serangan. Untuk menguji dari ketahanan *watermark* dilakukan simulasi jenis serangan seperti kompresi JPEG, *filtering*, *noise addition*, *geometric attack*, dan pemrosesan sinyal. Sedangkan kualitas pada *watermark* digunakan parameter analisis pada skema ini yaitu PSNR, SSIM, *Bit Error Rate* BER dan NC.

2. Dasar Teori dan Metodologi

2.1 Integer Wavelet Transform (IWT).

IWT merupakan transformasi *wavelet* yang dapat memetakan urutan masukan bilangan bulat ke urutan keluaran bilangan bulat dengan membulatkan nilai *wavelet* [6]. Dalam penggunaannya IWT menguraikan gambar menjadi *subband* frekuensi LL memberikan berisikan *detail*, LH berisi *detail* horizontal, HL berisi *detail* vertikal dan HH berisi *detail* gambar [5]. IWT memiliki sifat dapat dibalik sehingga dapat merekonstruksi citra kembali dengan sempurna. Karena sifat tersebut, IWT dianggap sebagai transformasi *wavelet* klasifikasi *reversible* yang lebih efisien dan cepat [7].

2.2 Discrete Cosine Transform (DCT)

DCT adalah transformasi dua arah yang mengubah domain *spasial* menjadi domain *frequency* dan sebaliknya. Kelebihan dari transformasi DCT adalah rasio kompresi yang tinggi dengan *error rate* yang rendah. DCT dengan ukuran blok (M x N) M adalah baris dan N adalah kolom[8]. Persamaan (1) dan (2) merupakan persamaan DCT yang digunakan [9].

$$G(u, v) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} g(x, y) \times \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2m} \times \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2n} \tag{1}$$

$$g(x, y) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} \alpha(u)\alpha(v)G(u, v) \times \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2m} \times \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2n} \tag{2}$$

$g(x,y)$ merupakan nilai spasial domain, $G(u,v)$ adalah nilai koefisien DCT, dan untuk nilai koefisien $\alpha(u)$ dan $\alpha(v)$ diperoleh dengan persamaan (3) [10].

$$\alpha(u)\alpha(v) \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{Jika } u, v = 0 \\ 1 & \text{lainnya} \end{cases} \tag{3}$$

2.3 Singular Value Decomposition (SVD)

SVD merupakan suatu transformasi umum yang digunakan dalam analisis numerik. SVD dalam matriksnya A bernilai $M \times N$, dengan $M \geq N$. Persamaan (4) merupakan persamaan matriks SVD yang digunakan [11]:

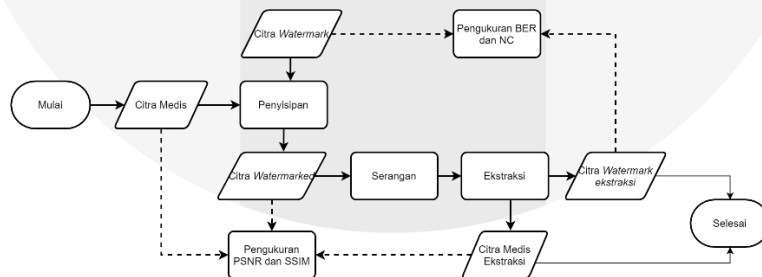
$$A = USV^T \tag{4}$$

Matriks A terdiri dari U, V, dan S. S adalah sebuah matriks diagonal yang terdapat faktor skala atau disebut dengan nilai singular berukuran $M \times N$, sedangkan U merupakan matriks orthogonal yang berukuran $M \times M$ dan V adalah matriks orthogonal berukuran $N \times N$ [4]. Keuntungan dari menggunakan SVD adalah memiliki nilai singular yang stabil. Nilai singular yang stabil artinya jika terdapat sedikit gangguan kecil pada citra, maka nilai dari citra tersebut tidak berpengaruh. Sehingga metode ini baik untuk mengatasi penyematan informasi kecil pada citra [12].

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

Pada Tugas akhir ini desain sistem tahapan *watermarking* terdiri dari dua proses. Desain sistem penelitian tugas akhir ini mengacu kepada Gambar 1.



Gambar 1 Blok diagram desain sistem

3.2 Skema Penyisipan

Proses penyisipan (*embedding*) adalah proses penyisipan citra *watermark* ke citra medis sehingga pada outputnya menghasilkan citra *watermarked*. Adapun proses dari *embedding* dapat dilihat pada Gambar 2.

Adapun prinsip kerja dari blok diagram penyisipan pada Gambar 2 sebagai berikut :

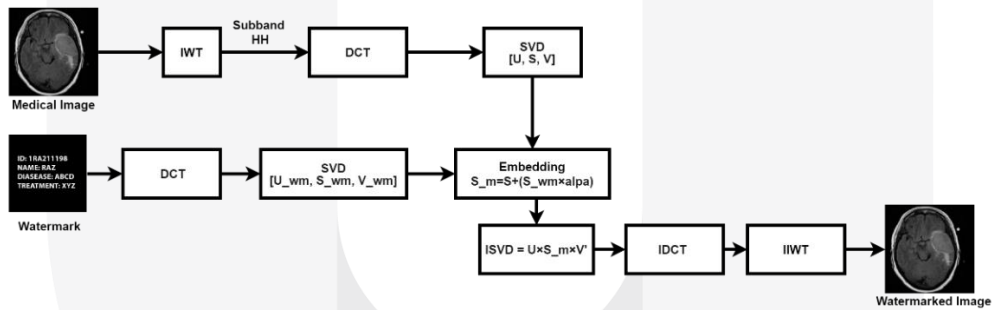
1. Membaca citra medis dan *watermark* yang dipilih sebagai citra *host*.
2. Menerapkan IWT pada citra medis sehingga memperoleh empat *subband* frekuensi, yaitu LL, LH, HL, dan HH.
3. Lakukan tranformasi DCT pada subband HH dari citra medis dan *watermark*, lalu menerapkan blok DCT 8×8 pada citra medis sehingga memperoleh 64 blok.
4. Terapkan SVD pada citra medis dan *watermark* Sehingga memperoleh komponen U, S, dan V citra medis dan pada *watermark* untuk mendapatkan komponen U_{wm}, S_{wm}, dan V_{wm}.

$$S_m = S + (S_{wm} \times \alpha) \tag{4}$$

5. Terapkan ISVD dengan menggunakan S_m dari citra *watermarked*, U dan V dari citra asli. Sehingga diperoleh persamaan seperti persamaan (5).

$$ISVD = U \times S_m \times V' \tag{5}$$

6. Terapkan *invers* DCT pada setiap subband HH' untuk merekonstruksi citra kembali.
7. Terapkan *invers* IWT pada subband HH' untuk memperoleh citra *watermarked*.



Gambar 2 Blok diagram penyisipan.

3.3 Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi (*extraction*) merupakan proses pengambilan kembali citra watermark dan host ekstraksi. Adapun prosesnya dilakukan dengan blok diagram seperti berikut :

Adapun tahapan ekstraksi sesuai dengan blok diagram ekstraksi pada Gambar 3 sebagai berikut.

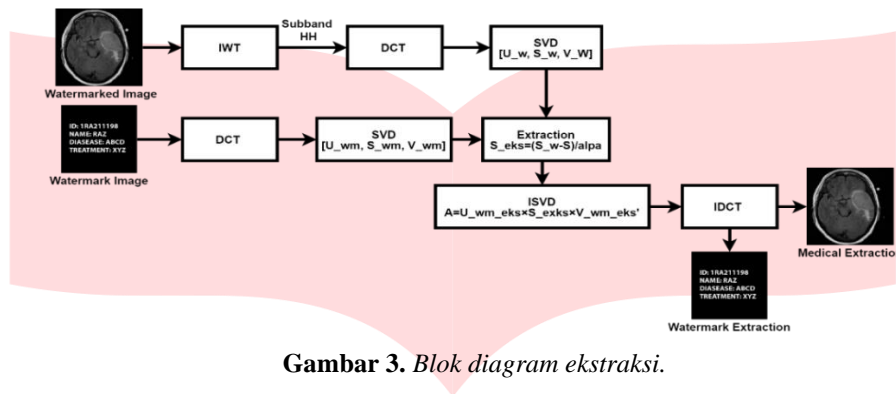
1. Lakukan tahapan IWT pada citra *watermarked*. Lalu dipilih *subband* HH.
2. Terapkan blok DCT 8×8 pada citra *watermarked* dan *watemark* yang telah dipilih sehingga diperoleh 64 blok.
3. Setelah itu terapkan SVD pada citra *watermarked* dan *watermark*.
4. Lakukan ekstraksi dengan parameter alpa sehingga diperoleh persamaan ekstraksi seperti persamaan (6).

$$S_{_eks} = (S_w - S)/\alpha \tag{6}$$

5. Terapkan ISVD setelah memperoleh matriks rekontruksi matirks A dengan persamaan (7).

$$A = U_{wm_eks} \times S_{eks} \times V_{wm_eks} \tag{7}$$

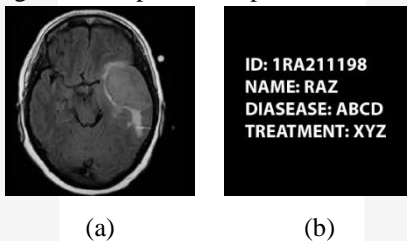
6. Lakukan IDCT untuk rekontruksi.
7. *Watermark* ekstraksi dan citra medis ekstraksi dihasilkan.



Gambar 3. Blok diagram ekstraksi.

4. Pembahasan

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian dari skema yang diusulkan dengan menggunakan citra medis berukuran 1024×1024. Citra *watermark* yang digunakan adalah *watermark* data pasien berukuran 256×256 piksel. Pada sistem *watermarking* yang diusulkan, penulis menguji pengaruh metode dari proses penyisipan dengan nilai PSNR, SSIM dan ekstraksi pada akan diamati nilai BER dan NC. Gambar citra medis dan watermark yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Citra medis, (b) *Watermark*

4.1 Pengujian Parameter

Pengujian parameter dilakukan untuk menentukan optimasi terbaik pada sistem *watermarking*. Adapun parameter yang digunakan adalah *subband* HH level 1 dan Alpa. Tabel 1 merupakan hasil dari pengujian parameter yang digunakan

Tabel 1. Pengujian parameter alpa

| Subband | Alpa | PSNR | SSIM | BER | NC |
|------------|------|------|-------|-----|----|
| HH Level 1 | 0.01 | 64,2 | 1 | 0 | 1 |
| | 0.1 | 47,1 | 0,991 | 0 | 1 |
| | 1 | 29,3 | 0,948 | 0 | 1 |
| | 10 | 19,0 | 0,927 | 0 | 1 |

Pada Tabel 1 dilakukan pengujian parameter alpa dengan *subband* HH dan hasil yang diperoleh bahwa semakin kecil nilai alpa yang diujikan maka nilai parameter yang diperoleh semakin bagus. Nilai BER dan NC yang didapat adalah pada semua nilai alpa memiliki nilai maksimal. Dari pengujian parameter diperoleh nilai alpa terbaik yaitu 0.01

4.2 Hasil Uji Tanpa Serangan

Pada pengujian citra *watermarked* dilakukan perhitungan nilai PSNR dan ssim. Sedangkan pada tahapan ekstraksi dilakukan perhitungan nilai BER dan NC dari *watermark* ekstraksi dan PSNR dan SSIM pada *host* ekstraksi.

Tabel 2 Hasil Tanpa Serangan

| Citra | PSNR | | SSIM | | BER | NC | Capacity |
|-------|------------|-----------|------------|----------|-----|----|----------|
| | Penyisipan | Ekstraksi | Penyisipan | Ekstaksi | | | |
| | | | | | 0 | 1 | 0,0002 |
| CT | 64,2 | 60,9 | 1 | 0,999 | 0 | 1 | 0,0002 |
| MRI | 64,2 | 60,9 | 1 | 0,999 | 0 | 1 | 0,0002 |
| X-Ray | 64,4 | 60,9 | 1 | 0,999 | 0 | 1 | 0,0002 |
| US | 64,4 | 61,0 | 1 | 0,999 | 0 | 1 | 0,0002 |

Hasil yang didapatkan pada Tabel 2 merupakan nilai PSNR dan SSIM dari proses penyisipan dan citra medis ekstraksi. Dari hasil yang diperoleh, PSNR memiliki nilai diatas 28 dB pada kedua proses dan memiliki selisih yang sedikit. SSIM yang diperoleh kedua proses mendekati satu. Sehingga pada pengujian ini skema metode yang diusulkan memiliki *impercebilty* yang bagus. Hasil yang diperoleh pada Tabel IV menunjukkan nilai yang maksimal pada *watermark* ekstraksi, yaitu BER 0 dan NC 1. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa skema yang diusulkan tidak memiliki *bit error* pada *watermark* ekstraksi dan memiliki ketahanan yang kuat. Nilai kapasitas *watermark* dari skema yang diusulkan adalah 0,0002.

4.3 Pengujian Serangan

Pada bagian ini akan skema metode yang diusulkan akan dilakukan pengujian serangan seperti kompresi JPEG, *filtering*, *noise addition*, *geometric*, dan pemrosesan sinyal.

4.3.1 Pengujian Serangan Kompresi JPEG

Pengujian serangan kompresi dilakukan dengan beberapa nilai *quality*, adapun hasil yang diperoleh pada serangan kompres JPEG ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Serangan Kompresi JPEG

| <i>Quality</i> | PSNR | SSIM | BER | NC |
|----------------|------|-------|-------|-------|
| 40 | 27,2 | 0,973 | 0,116 | 0,311 |
| 50 | 24,3 | 0,971 | 0,111 | 0,342 |
| 60 | 24,1 | 0,982 | 0,111 | 0,346 |
| 70 | 30,6 | 0,987 | 0,107 | 0,345 |
| 80 | 31,8 | 0,995 | 0,106 | 0,338 |
| 90 | 35,7 | 0,997 | 0,067 | 0,358 |

Dari Tabel 3 diperoleh hasil, semakin besar nilai *quality* yang diperoleh maka nilai parameter yang dihasilkan semakin bagus. Sehingga dari pengujian serangan kompresi JPEG menunjukkan bahwa metode yang diusulkan tahan terhadap serangan ini.

4.3.2 Pengujian Serangan Noise Addition

Pada pengujian *noise addition* dilakukan terhadap tiga jenis serangan *noise*, seperti *noise gaussian*, *noise speckle* dan *noise salt and pepper*. Adapun dari hasil didapatkan dari pengujian serangan *noise* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Serangan Noise Addition

| <i>Serangan</i> | PSNR | SSIM | BER | NC |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|
| <i>Noise Gaussian</i> | 37,4 | 0,921 | 0,096 | 0,425 |

| | | | | |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|
| <i>Noise Speckle</i> | 43,4 | 0,995 | 0,110 | 0,750 |
| <i>Noise Salt & Pepper</i> | 46,9 | 0,996 | 0,024 | 0,891 |

Pada Tabel 3 diperoleh hasil bahwa nilai PSNR memperoleh nilai diatas 28 dB pada ketiga jenis serangan. Nilai SSIM yang diperoleh dari tiga jenis serangan menghasilkan nilai yang mendekati 1. Pada nilai BER yang diperoleh menghasilkan nilai *bit error* dibawah 20%. Pada nilai NC memiliki nilai mendekati 1 pada serangan *noise speckle* dan *salt and pepper*, Sedangkan *noise gaussian* memperoleh nilai NC dibawah 0,5. Sehingga dari metode yang diusulkan masih tahan terhadap serangan *noise additon*.

4.3.3 Pengujian Serangan Filtering

Pada pengujian *filtering* akan dilakukan terhadap tiga jenis serangan, seperti *median filtering*, *mean filter*, dan *gaussian LPF*. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Serangan Filtering

| <i>Serangan</i> | PSNR | SSIM | BER | NC |
|-------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|
| <i>Median Filtering</i> | 51,9 | 0,999 | 0,091 | 0,526 |
| <i>Mean Filter</i> | 47,9 | 0,998 | 0,096 | 0,349 |
| <i>Gaussian LPF</i> | 31,1 | 0,967 | 0,097 | 0,254 |

Pada Tabel 5. diperoleh hasil bahwa nilai PSNR diatas 28 dB pada ketiga jenis serangan *filtering*. Nilai SSIM yang dihasilkan dari ketiga jenis serangan memperoleh nilai mendekati. Nilai BER yang diperoleh dibawah 20% sehingga metode yang dihasilkan memiliki *bit error* yang rendah. Nilai NC yang diperoleh rendah dibawah 0,7 sehingga skema yang diusulkan tidak tahan terhadap serangan *filtering*.

4.3.4 Pengujian Serangan Geometric

Pada pengujian serangan *geometric* akan dilakukan pengujian terhadap serangan *cropping* dan *rotation*. Adapun dari hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Serangan Geometric

| <i>Serangan</i> | PSNR | SSIM | BER | NC |
|-----------------|-------------|-------------|------------|-----------|
| <i>Cropping</i> | 10,1 | 0,307 | 0,095 | 0,041 |
| <i>Rotation</i> | 11,4 | 0,307 | 0,094 | 0,157 |

Pada Tabel 6. Diperoleh hasil bahwa nilai PSNR yang diperoleh pada pengujian serangan *geometric* berada dibawah 28 dB. Nilai SSIM yang diperoleh pada serangan *geometric* mendekati 0. Pada nilai BER yang diperoleh dibawah 20%. Sedangkan nilai NC yang diperoleh mendekati 0. Dari hasil skema metode yang diusulkan menunjukkan tidak tahan terhadap serangan *geometric*.

4.3.5 Pengujian Serangan Pemrosesan Sinyal

Pada pengujian serangan pemrosesan sinyal akan dilakukan pengujian serangan *blurring*, *histogram equalization*, dan *sharpeing*. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 7 Hasil Serangan Pemrosesan Sinyal

| <i>Serangan</i> | PSNR | SSIM | BER | NC |
|-------------------|-------------|-------------|------------|-----------|
| <i>Blurring</i> | 54,7 | 1 | 0,067 | 0,800 |
| <i>Histogram</i> | 9,1 | 0,348 | 0,260 | 0,546 |
| <i>Sharpening</i> | 47,6 | 0,998 | 0,055 | 0,935 |

Pada Tabel 7 diperoleh hasil bahwa PSNR diatas 28 dB diperoleh pada serangan *blurring* dan *sharpeing*, sedangkan untuk serangan *histogram* memperoleh nilai PSNR 9,1. Pada nilai SSIM diperoleh nilai mendekati 1 pada serangan *blurring* dan *sharpening*, sedangkan untuk serangan *histogram* diperoleh nilai SSIM 0,348. Pada nilai BER diperoleh nilai bit error dibawah 20% pada serangan *bluring* dan *sharpening*, sedangkan untuk serangan *histogram* diperoleh 0,2601. Nilai NC yang diperoleh tidak mendekati 1 hanya diperoleh pada serangan *histogram*. Sehingga berdasarkan dari skema metode yang diusulkan memperoleh tahan terhadap serangan *blurring* dan *sharpening*.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini mengusulkan teknik *watermarking* dengan menggunakan metode *Integer Wavelet Transform (IWT)*, *Discrete Cosine Transform (DCT)*, dan *Singular Value Decomposition (SVD)*. Setelah dilakukan penelitian dan pengujian maka dapat disimpulkan bahwa skema IWT-DCT-SVD dapat memberikan keamanan pada citra medis dengan nilai PSNR 64,4, SSIM 1, BER 0 dan NC 1. Berdasarkan hasil pengujian memiliki nilai PSNR yang tinggi, nilai NC yang maksimum dan tidak ada *bit error* maka skema yang diusulkan klasifikasi *reversible*. Metode yang diusulkan *robustness* pada serangan *speckle*, *salt & pepper*, *sharpening*, dan *blurring*. Pada Tabel VIII skema yang diusulkan memperoleh nilai NC yang sempurna dibandingkan penelitian sebelumnya, hal ini menandakan bahwa skema yg diusulkan memiliki *watermark* ekstraksi memiliki kemiripan yang sempurna. Tetapi pada pengujian serangan skema yang diusulkan memiliki ketahanan yang lebih baik pada serangan *salt & pepper* dan *sharpening*.

REFERENSI

- [1] W. H. Alshoura, Z. Zainol, J. Sen Teh, Dan M. Alawida, "A New Chaotic Image Watermarking Scheme Based On Svd And Iwt," *Ieee Access*, Vol. 8, Hal. 43391–43406, 2020, Doi: 10.1109/Access.2020.2978186.
- [2] A. Singh, J. Nigam, R. Thakur, R. Gupta, Dan A. Kumar, "Wavelet Based Robust Watermarking Technique For Integrity Control In Medical Images," *Proc. - 2016 Int. Conf. Micro-Electronics Telecommun. Eng. Icmete 2016*, Hal. 222–227, 2016, Doi: 10.1109/Icmete.2016.103.
- [3] R. A. Alotaibi Dan L. A. Elrefaei, "Text-Image Watermarking Based On Integer Wavelet Transform (Iwt) And Discrete Cosine Transform (Dct)," *Appl. Comput. Informatics*, Vol. 15, No. 2, Hal. 191–202, 2019, Doi: 10.1016/J.Aci.2018.06.003.
- [4] S. Agrawal Dan M. Kumar, "Reversible Data Hiding For Medical Images Using Integer-To-Integer Wavelet Transform," *2016 Ieee Students' Conf. Electr. Electron. Comput. Sci. Sceecs 2016*, 2016, Doi: 10.1109/Sceecs.2016.7509266.
- [5] G.Nagaraju *Et Al.*, "Optimized Image Watermarking Scheme Based On Iwt And Dct," *Optim. Image Watermarking Scheme Based Iwt Dct*, Vol. 29, No. 4, Hal. 143–147, 2020, [Daring]. Tersedia Pada: [Http://Sersc.Org/Journals/Index.Php/Ijast/Article/View/4044](http://Sersc.Org/Journals/Index.Php/Ijast/Article/View/4044).
- [6] S. M. Mousavi, A. Naghsh, Dan S. A. R. Abu-Bakar, "Watermarking Techniques Used In Medical Images: A Survey," *J. Digit. Imaging*, Vol. 27, No. 6, Hal. 714–729, 2014, Doi: 10.1007/S10278-014-9700-5.
- [7] X. Liu *Et Al.*, "A Novel Robust Reversible Watermarking Scheme For Protecting Authenticity And Integrity Of Medical Images," *Ieee Access*, Vol. 7, Hal. 76580–76598, 2019, Doi: 10.1109/Access.2019.2921894.
- [8] C. M. Kuo Dan N. C. Yang, "Global Image Enhancement In The Dct Domain," *Proc. - 2010 3rd Ieee Int. Conf. Comput. Sci. Inf. Technol. Iccsit 2010*, Vol. 1, Hal. 521–525, 2010, Doi: 10.1109/Iccsit.2010.5564691.
- [9] R. Purnamasari Dan A. B. Suksmono, "Compressive Sampling Untuk Sinyal Beat Radar Cuaca Via Discrete Cosine Transform (Dct)," *Elkomika J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, Vol. 7, No. 2, Hal. 238, 2019, Doi: 10.26760/Elkomika.V7i2.238.
- [10] B. R. Latuconsina, R. Purnamasari, R. Patmasari, F. Teknik, Dan U. Telkom, "Analisis Audio Watermarking Berbasis Discrete Wavelet Transform Dengan Metode Singular Value Decomposition Dan Quantization Index Modulation Dengan Citra Teroptimasi Coarse To Fine Search Audio Watermarking Analysis Based On Discrete Wavelet Transform Usi," Vol. 7, No. 2, Hal. 3166–3174, 2020.
- [11] S. Singh, R. Singh, A. K. Singh, Dan T. J. Siddiqui, "Svd-Dct Based Medical Image Watermarking In Nsct Domain," Hal. 467–488, 2018, Doi: 10.1007/978-3-319-63639-9_20.
- [12] F. N. Thakkar Dan V. K. Srivastava, "A Blind Medical Image Watermarking: Dwt-Svd Based Robust And Secure Approach For Telemedicine Applications," *Multimed. Tools Appl.*, Vol. 76, No. 3, Hal. 3669–3697, 2017, Doi: 10.1007/S11042-016-3928-7.

