

ANALISA DAN PERANCANGAN AUDIO WATERMARKING HYBRID SMM DAN QIM PADA DOMAIN SWT DENGAN CT DAN KOMBINASI DST-SVD-CPT

ANALYSIS AND DESIGN AUDIO WATERMARKING HYBRID SMM AND QIM ON SWT DOMAIN WITH CT AND DST-SVD-CPT COMBINATION

Fredara Sista Putri, Gelar Budiman, S.T., M.T₂, Ledya Novamizanti, S.Si., M.T₃

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fredarasista@student.telkomuniversity.ac.id, ²gelarbudiman@telkomuniversity.co.id,

³ledyaldn@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada tulisan ini dirancang suatu watermarking dengan menggunakan audio sebagai sinyal host. Metode yang dipakai dalam perancangan *audio watermarking* ini adalah *Stationary Wavelet Transform* (SWT). Dalam prosesnya *audio watermarking* di-hybrid atau dilakukan penggabungan beberapa teknik. Untuk yang pertama metode SWT akan digabungkan dengan *Cepstrum Transform* (CT) dan *Statistical Mean Manipulation* (SMM) sebagai teknik penyisipan. Kemudian yang kedua dengan menggunakan teknik penyisipan *Quantization Index Modulation* (QIM), metode SWT digabungkan dengan kombinasi *Discrete Sine Transform* (DST) – *Singular Value Decomposition* (SVD) – *Cartesian Polar Transform* (CPT). Hasil yang diperoleh dari perancangan sistem *audio watermarking* adalah watermarking tahan terhadap berbagai serangan. Dengan hasil BER rata-rata terkecil senilai 0.13, ODG sebesar -0.07, SNR bernilai dari 2.8822 - 18.8423 dB, rata-rata nilai MOS tertinggi adalah 4.7 dan payload sebesar 172.2656 bps. Hal ini membuktikan bahwa kualitas sistem audio watermarking yang dirancang cukup baik dan sistem memiliki ketahanan terhadap serangan kompresi, *filtering*, *resampling* dan serangan lainnya.

Kata kunci : Audio watermarking, *Stationary Wavelet Transform* (SWT), *Cepstrum Transform* (CT), *Discrete Sine Transform* (DST), *Singular Value Decomposition* (SVD), *Cartesian Polar Transform* (CPT).

Abstract

In this paper, proposed a watermarking design using audio as a host signal. The method used in the design of audio watermarking is *Stationary Wavelet Transform* (SWT). Audio watermarking is hybridized by several techniques. For the first process, the SWT method is combined with *Cepstrum Transform* (CT) and *Statistical Mean Manipulation* (SMM) as an insertion technique. Then the second process, using the *Quantization Index Modulation* (QIM) insertion technique, the SWT method is combined with a combination of *Discrete Sine Transform* (DST) - *Singular Value Decomposition* (SVD) - *Cartesian Polar Transform* (CPT). The results from the design of audio watermarking system is watermarking resistant to various attacks. The system obtained the smallest average BER value is 0.13, ODG of -0.07, SNR of 2.8822 - 18.8423 dB, the highest average MOS value is 4.7 and the payload is 172.2656 bps. This proves that the quality of the designed audio watermarking system is quite good and the system has resistance to compression, *filtering*, *resampling* and other attacks.

Keywords: Audio watermarking, *Stationary Wavelet Transform* (SWT), *Cepstrum Transform* (CT), *Discrete Sine Transform* (DST), *Singular Value Decomposition* (SVD), *Cartesian Polar Transform* (CPT).

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini, pengiriman dan penerimaan suatu informasi jauh lebih mudah terutama melalui internet. Di balik kemudahan itu, ada beberapa orang yang melakukan kejahatan. Misalnya, mencuri kepemilikan hak cipta. Watermarking adalah salah satu teknik untuk mencegah pencurian kepemilikan hak cipta. Salah satu metode yang efektif adalah

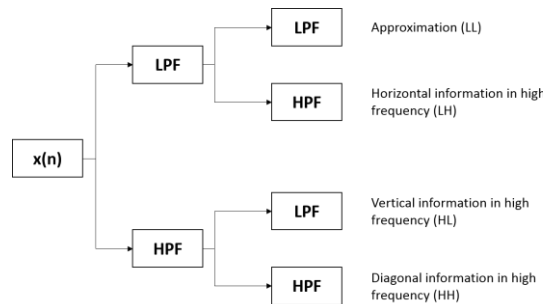
audio watermarking yang merupakan metode penyembunyian atau penyisipan data atau informasi tertentu dalam bentuk informasi publik atau rahasia ke dalam audio digital, tetapi keberadaannya tidak dikenali oleh indra pendengaran manusia (*human auditory system*), dan mampu menghadapi gangguan atau serangan.

Dalam tulisan ini membahas tentang perancangan *audio watermarking* dengan menggunakan metode *Stationary Wavelet Transform* (SWT). Dalam prosesnya *audio watermarking* akan di-hybrid atau dilakukan penggabungan beberapa teknik. Untuk yang pertama metode SWT akan digabungkan dengan *Cepstrum Transform* (CT) dan *Statistical Mean Manipulation* (SMM) sebagai teknik penyisipan. Kemudian dengan menggunakan teknik penyisipan *Quantization Index Modulation* (QIM), metode SWT digabungkan dengan kombinasi *Discrete Sine Transform* (DST) – *Singular Value Decomposition* (SVD) – *Cartesian Polar Transform* (CPT).

2. Dasar Teori

2.1 Stationary Wavelet Transform (SWT)

Stationary Wavelet Transform (SWT) adalah algoritma transformasi wavelet yang dirancang untuk mengatasi kelemahan dari *Discrete Wavelet Transform* (DWT) atau *Lifting Wavelet Transform* (LWT) yang kurang memiliki terjemahan invarian. Penerjemahan invarian dapat dicapai dengan menghapus *downsampler* dan *upsampler* di DWT dan meningkatkan koefisien filter dalam algoritma dengan faktor 2^{j-1} di tingkat j^{th} . SWT adalah redundansi yang berhubungan dengan skema karena output dari setiap level mengandung sejumlah sampel SWT yang sama dengan input. Jadi untuk dekomposisi N-level ada N redundansi pada koefisien wavelet [11].



Gambar 2.1 Diagram filter SWT dengan 2 tingkatan

Gambar 2.1 mendeskripsikan tentang filter SWT dengan 2 tingkatan. Sinyal audio akan didekomposisi menjadi LPF dan HPF. Kemudian LPF dan HPF akan didekomposisi sehingga mendapatkan aproksimasi (LL), detail horizontal (LH), detail vertikal (HL), dan detail diagonal (HH). Berikut ini adalah persamaan untuk dekomposisi SWT [11]:

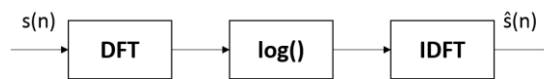
$$\begin{aligned}
 A_{j,k_1,k_2} &= \sum_{n_1} \sum_{n_2} h_0^{\uparrow 2j} (n_1 - 2k_1) h_0^{\uparrow 2j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2} \\
 D_{j,k_1,k_2}^1 &= \sum_{n_1} \sum_{n_2} h_0^{\uparrow 2j} (n_1 - 2k_1) g_0^{\uparrow 2j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2} \\
 D_{j,k_1,k_2}^2 &= \sum_{n_1} \sum_{n_2} g_0^{\uparrow 2j} (n_1 - 2k_1) h_0^{\uparrow 2j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2} \\
 D_{j,k_1,k_2}^3 &= \sum_{n_1} \sum_{n_2} g_0^{\uparrow 2j} (n_1 - 2k_1) g_0^{\uparrow 2j} (n_2 - 2k_2) A_{j-1,n_1,n_2}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

dimana A_{j,k_1,k_2} , D_{j,k_1,k_2}^1 , D_{j,k_1,k_2}^2 , D_{j,k_1,k_2}^3 adalah aproksimasi (LL), detail horizontal (LH), detail vertikal (HL), dan detail diagonal (HH). h_0^{12j} dan g_0^{12j} digunakan untuk menyatakan bahwa 2^{j-1} nol dimasukkan di antara dua titik h_0 dan g_0 . Berikut ini adalah persamaan untuk *Inverse Stationary Wavelet Transform* (ISWT) [11]:

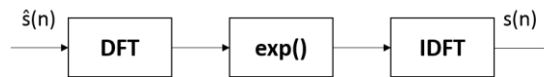
$$\begin{aligned}
 A_{j-1,n_1,n_2} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^3 \{ & \sum_{k_1} \sum_{k_2} h_1(n_1 - 2k_1 - i) h_1(n_2 - 2k_2 - i) \\
 & A_{j,k_1,k_2} + \sum_{k_1} \sum_{k_2} h_1(n_1 - 2k_1 - i) g_1(n_2 - 2k_2 - i) \\
 & D_{j,k_1,k_2}^1 + \sum_{k_1} \sum_{k_2} g_1(n_1 - 2k_1 - i) h_1(n_2 - 2k_2 - i) \\
 & D_{j,k_1,k_2}^2 + \sum_{k_1} \sum_{k_2} g_1(n_1 - 2k_1 - i) g_1(n_2 - 2k_2 - i) \\
 & D_{j,k_1,k_2}^3 \} \tag{2.2}
 \end{aligned}$$

2.2 Cepstrum Transform (CT)

Cepstrum Transform (CT) merupakan transformasi sinyal dari domain waktu diskrit ke domain *cepstrum* diskrit.



Gambar 2.2 Proses transformasi *cepstrum*



Gambar 2.3 Proses invers transformasi *cepstrum*

Formulasi transformasi *cepstrum* adalah sebagai berikut:

$$\hat{s}(n) = \text{IDFT}(\log \text{DFT}(s(n))) \tag{2.3}$$

sementara formulasi invers transformasi *cepstrum* adalah:

$$s(n) = \text{IDFT}(e^{\text{DFT}(\hat{s}(n))}). \tag{2.4}$$

Sinyal $s(n)$ adalah sinyal dalam domain waktu dan $\hat{s}(n)$ adalah sinyal dalam domain *cepstrum*.

$\text{DFT}(x(n))$ merupakan fungsi *discrete fourier transform* terhadap $x(n)$ dengan formulasi sesuai persamaan 2.5, dan $\text{IDFT}(x(k))$ merupakan fungsi *inverse discrete fourier transform* terhadap $x(k)$ dengan formulasi sesuai persamaan 2.6.

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi \frac{kn}{N}} \quad (2.5)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{j2\pi \frac{kn}{N}} \quad (2.6)$$

dimana $x(n)$ adalah sinyal dalam domain waktu diskrit, sementara $x(k)$ merupakan sinyal dalam domain frekuensi diskrit. n adalah satuan unit diskrit dalam domain waktu dengan *range* $0 \leq n \leq N-1$, k adalah satuan unit diskrit dalam domain frekuensi, dan N adalah jumlah point DFT yang digunakan [13].

2.3 Discrete Sine Transform (DST)

Discrete Sine Transform (DST) identik dengan *Shifted Discrete Fourier Transform*, modifikasi permutasi spesifik dari sinyal asli. Berikut ini adalah persamaan DST [11]:

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{\pi kn}{N+1}\right), k = 0, \dots, N-1 \quad (2.7)$$

$Y(k)$ = hasil dari proses DST (transformasi dari domain waktu ke domain frekuensi)

$x(n)$ = nilai amplituda dari sinyal audio

N = jumlah sample

Persamaan ini juga memiliki sifat pemadatan energi yang dapat digunakan untuk watermarking audio. DST memiliki koefisien nyata dalam domain frekuensi yang mirip dengan DCT. Proses dalam DST dalam watermarking audio lebih sederhana daripada watermarking audio *multicarrier*. Di bawah ini adalah persamaan *Inverse Discrete Sine Transform* (IDST) [11]:

$$x(n) = \frac{2}{N+1} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k) \sin\left(\frac{\pi kn}{N+1}\right), n = 0, \dots, N-1 \quad (2.8)$$

2.4 Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) adalah salah satu proses dekomposisi matriks dalam beberapa aplikasi yang dapat digunakan dalam perancangan *audio watermarking*. Pada SVD seluruh koefisien diurutkan ulang sampai membentuk sebuah matriks, lalu hasil pada matriks tersebut dibagi menjadi tiga bagian sub matriks. Salah satu diantara ketiga sub matriks tersebut disebut *singular value matrix* atau *eigen value* yang akan digunakan untuk proses penyisipan watermark. Input data pada SVD dibagi menjadi tiga bagian matriks [12].

$$U * S * V^T = \text{SVD}(I) \quad (2.9)$$

dimana I merupakan sinyal masukan yang akan didekomposisi, dan U serta V merupakan *orthogonal* matriks yang dapat *left singular* matriks U dan *right singular* matriks V , sedangkan S adalah matriks diagonal seperti berikut:

$$\begin{pmatrix} \rho_1 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & \rho_2 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \rho_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & \rho_n \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

2.5 Cartesian Polar Transform (CPT)

Cartesian-Polar Transform (CPT) adalah transformasi dari sistem koordinat Cartesian ke sistem koordinat Polar. Sistem koordinat kutub (r, θ) , r menunjukkan jarak antara titik asal dan titik yang ditentukan sementara θ dilambangkan dengan sudut antara garis referensi. Transformasi dari koordinat Cartesian ke koordinat Polar diberikan oleh persamaan berikut [11]:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \quad (2.11)$$

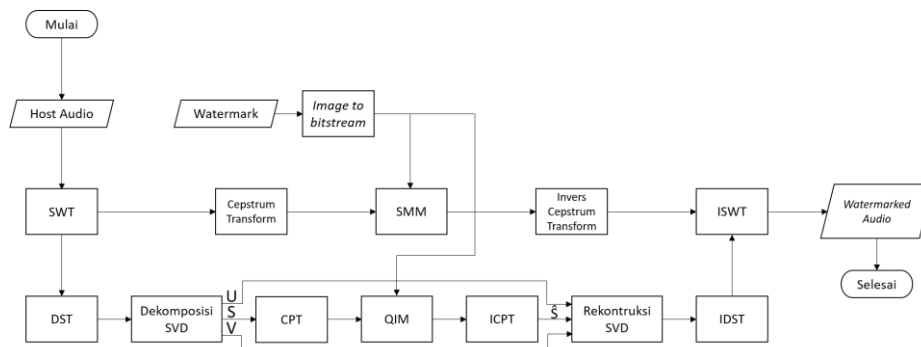
dimana (x,y) merupakan titik sistem koordinat Cartesian. Transformasi dari koordinat Polar ke koordinat Cartesian dirumuskan sebagai berikut [11]:

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta \quad (2.12)$$

3. Model Sistem dan Perancangan

3.1 Proses Penyisipan

Pada proses penyisipan, data watermark berupa gambar biner akan disisipkan ke dalam host audio. Dengan melalui beberapa tahap seperti dekomposisi SWT, penyisipan SMM dengan *Cepstrum Transform* dan penyisipan QIM dengan kombinasi DST-SVD-CPT. Kemudian masing-masing metode dilakukan invers untuk mendapatkan hasil *watermarked audio*.



Gambar 3.1 Diagram alir proses penyisipan

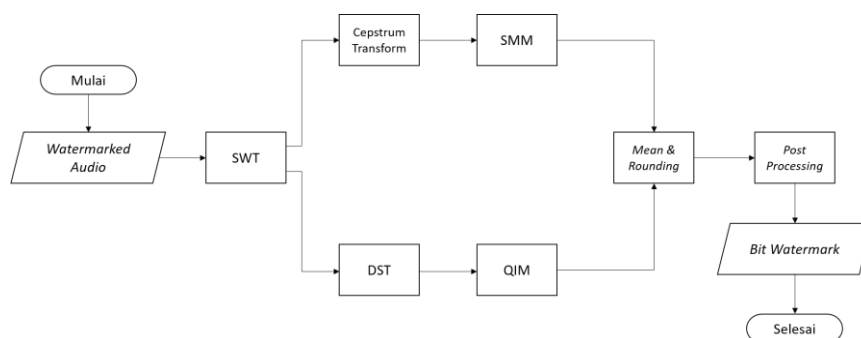
Berikut adalah langkah-langkah dari proses penyisipan:

1. Membaca file watermark berupa gambar biner
2. Melakukan proses *bitstream* atau konversi data watermark gambar biner menjadi bentuk satu dimensi
3. Membaca sinyal host audio dalam bentuk matriks satu dimensi
4. Melakukan proses dekomposisi dengan metode SWT guna memisahkan host audio berdasarkan frekuensi. Host audio dipisahkan menjadi frekuensi rendah dan frekuensi tengah. Frekuensi sinyal host yang dipisah masih dalam bentuk domain waktu. Dekomposisi pada SWT dilakukan sebanyak N level, di mana jumlah *sub-band* yang dihasilkan dapat dihitung dari 2^N
5. Koefisien SWT pada *sub-band* sinyal frekuensi tengah diproses dengan menggunakan *Cepstrum Transform* sesuai persamaan 2.3 dan persamaan 2.5. Hasil dari proses ini disebut sebagai sinyal dalam domain *cepstrum* yakni hasil perubahan dari sinyal dalam domain waktu ke domain *cepstrum*
6. Melakukan proses penyisipan pada frekuensi tengah dengan metode SMM. Proses penyisipan dilakukan dengan menggunakan perhitungan pada persamaan 2.13. Keluaran berupa *sub-band* sinyal frekuensi tengah yang telah disisipkan watermark
7. Melakukan proses invers dari *Cepstrum Transform* dengan menggunakan persamaan 2.4 dan persamaan 2.6 guna mengembalikan sinyal dari domain *cepstrum* ke domain waktu
8. Pada *sub-band* sinyal frekuensi rendah, melakukan transformasi DST untuk mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi
9. Melakukan dekomposisi SVD pada sinyal frekuensi rendah untuk membagi host audio berdasarkan amplituda yang signifikan dan tidak signifikan. Pembagian rentang nilai amplituda tersebut dihitung dengan persamaan 2.10
10. Melakukan proses transformasi CPT pada sinyal frekuensi rendah untuk mengubah dari sistem koordinat *cartesian* ke sistem koordinat polar dengan persamaan 2.11 dan persamaan 2.12
11. Melakukan proses penyisipan pada frekuensi rendah dengan metode QIM. Perhitungan dapat dilakukan menggunakan persamaan 2.14. Keluaran berupa *sub-band* sinyal frekuensi rendah yang telah disisipkan watermark

12. Melakukan proses ICPT untuk mengembalikan sinyal host audio dari sistem koordinat polar menjadi sistem koordinat *cartesian*
13. Melakukan rekonstruksi SVD untuk mengembalikan matriks dari host audio ke bentuk semula yaitu satu dimensi
14. Melakukan IDST untuk mengembalikan sinyal host audio ke bentuk semula yaitu dalam domain waktu
15. Melakukan transformasi ISWT setelah *sub-band* sinyal frekuensi tengah dan rendah disisipkan watermark berupa gambar biner. Pada proses ini *sub-band* kedua frekuensi sinyal digabungkan kembali dan menghasilkan *watermarked audio*
16. Menghitung nilai SNR, ODG dan kapasitas watermark untuk mengetahui kualitas *watermarked audio* yang sudah dirancang

3.2 Proses Ekstraksi

Pada proses ekstraksi, *watermarked audio* akan dipisahkan menjadi host audio dengan watermark. Untuk yang pertama melakukan transformasi *cepstrum* dan dekuantisasi SMM, kemudian melakukan transformasi DST dan dekuantisasi QIM. Dilanjutkan dengan proses *mean & rounding* dan *post processing* sehingga didapatkan hasil akhir.



Gambar 3.2 Diagram alir proses ekstraksi

Berikut adalah langkah-langkah dari proses ekstraksi:

1. Membaca file *watermarked audio*
2. Melakukan transformasi pada *watermarked audio* untuk memisahkan *sub-band* frekuensi pada sinyal *watermarked audio*
3. Melakukan transformasi *Cepstrum* pada *sub-band* frekuensi tengah untuk mengubah *watermarked audio* dari domain waktu ke domain *cepstrum*
4. Melakukan dekuantisasi pertama menggunakan SMM untuk *watermarked audio* pada sinyal frekuensi tengah dalam bentuk domain *cepstrum*. Hasil dekuantisasi pada SMM berupa watermark pada *sub-band* frekuensi tengah
5. Melakukan transformasi DST pada *sub-band* frekuensi rendah untuk mengubah *watermarked audio* dari domain waktu ke domain frekuensi
6. Melakukan dekuantisasi kedua menggunakan QIM untuk *watermarked audio* pada sinyal frekuensi rendah dalam bentuk domain frekuensi. Hasil dekuantisasi pada QIM berupa watermark pada *sub-band* frekuensi rendah
7. Melakukan *mean & rounding* pada watermark yang telah di dekuantisasi untuk mendapatkan nilai *bit watermark* satu dimensi
8. Melakukan proses *post processing* guna mengubah *bit watermark* yang telah di dekuantisasi dari satu dimensi menjadi dua dimensi
9. Menghitung nilai BER watermark

4. Pengujian dan Analisis Sistem

Bab ini menjelaskan mengenai hasil pengujian dan analisis sistem *audio watermarking* yang telah dirancang. Pengujian dan analisis dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ketahanan dan kualitas sistem *audio watermarking* yang dirancang terhadap berbagai serangan yang diberikan. Perancangan *audio watermarking* menggunakan *host audio* dengan format **.wav* dan frekuensi *sampling* 44100 Hz serta kanal suara stereo. *Host audio* yang digunakan pada pengujian sistem adalah *voice.wav*, *drums.wav*, *gitar.wav*, *bass.wav*, *piano.wav* dan *rock.wav*. Data *watermark* yang digunakan berupa citra biner dengan ukuran 64×64 pixel dan format **.bmp*.

4.1 Pemilihan Parameter Optimal

Ketahanan *audio watermarking* atau *robustness* dapat diketahui dengan memberikan serangan terhadap sistem *audio watermarking* yang dirancang. Serangan yang diberikan menggunakan parameter *nbit* optimal dari pengujian sebelumnya. Pada pengujian ini, *audio watermarking* diberi serangan kompresi MP3 parameter 64k. Adapun *host audio* yang diserang adalah *voice.wav*, *drums.wav*, *gitar.wav*, *bass.wav*, *piano.wav* dan *rock.wav*. Hasil yang diambil pada pengujian ini adalah nilai BER paling bagus dengan SNR lebih dari 25 dB atau ODG lebih dari -1. Tabel 4.2 menunjukkan parameter optimal dari hasil pengujian ketahanan *audio watermarking* terhadap serangan untuk masing-masing *audio host* yang digunakan. Dan Tabel 4.3 menunjukkan hasil BER untuk parameter optimal pada pengujian ini.

Tabel 4.1 Parameter Optimal Serangan Kompresi MP3 64k

Host	N	Nframe	nbit	alfac	ODG	SNR
voice.wav	5	256	4	0.001	-0.07	10.1799
piano.wav	5	256	4	0.01	-0.07	18.8423
gitar.wav	5	256	4	0.008	-0.07	13.8211
drums.wav	5	256	4	0.01	-0.07	2.8822
bass.wav	5	256	4	0.01	-0.07	2.908
rock.wav	5	256	4	0.01	-0.07	12.1967

Tabel 4.2 BER Parameter Optimal Serangan Kompresi MP3 64k

Host	BER		BER Rata-Rata
	Tanpa Serangan	MP3 64k	
voice.wav	0.02	0.10833	0.06417
piano.wav	0	0.0833	0.04165
gitar.wav	0	0.19667	0.09834
drums.wav	0.00167	0.055	0.02833
bass.wav	0	0.00167	0.00083
rock.wav	0	0.06	0.03

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa parameter optimal yang diperoleh dari hasil pengujian adalah N sama dengan 5, $Nframe$ 256, $nbit$ 4 dan α_c bernilai dari 0.001 hingga 0.01 untuk setiap *audio host*. Dengan hasil ODG lebih dari -1 yaitu -0.07 dan nilai SNR dari 2.8822 dB sampai 18.8423 dB. Pemilihan parameter optimal ini selain menggunakan serangan kompresi MP3 64k, juga dengan mengubah-ubah nilai parameter $Nframe$ dari 32 hingga 1024, serta α_c yang diubah hingga mendapatkan hasil BER paling bagus dengan SNR minimal diatas 25 dB atau ODG lebih besar dari -1. Sementara pada Tabel 4.3 merupakan hasil BER dari pengujian yang sudah dilakukan. Nilai BER rata-rata yang didapatkan adalah 0.00083 hingga 0.09834, terlihat bahwa nilai BER mencapai nilai yang diharapkan yakni < 20% atau dibawah 0.2.

4.2 Analisis Ketahanan *Audio Watermarking* dengan Parameter Optimal dan Serangan

Pada bagian ini menjelaskan tentang analisis ketahanan sistem *audio watermarking* yang dirancang terhadap seluruh serangan pengolahan sinyal dengan parameter optimal yang sudah didapatkan pada pengujian sebelumnya. Hasil BER rata-rata untuk setiap *audio host* setelah diberi serangan ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.3 BER Rata-Rata Setelah Diberi Serangan

Host	BER Rata-Rata
voice.wav	0.16442
drums.wav	0.135
gitar.wav	0.15
bass.wav	0.13
piano.wav	0.145
rock.wav	0.14

Setelah melakukan optimasi sistem dengan mengubah-ubah parameter-parameter yang ada hingga diperoleh parameter optimal seperti yang dijelaskan sebelumnya, kemudian parameter optimal tersebut digunakan pada pengujian ini dengan memberikan semua serangan guna mendapatkan hasil BER. Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa rata-rata nilai BER setelah diberi serangan adalah 16.442% untuk voice.wav, 13.5% untuk drums.wav, 15% untuk gitar.wav, 13% untuk bass.wav, 14.5% untuk piano.wav dan 14% untuk rock.wav.

5. Kesimpulan

Pada pengujian dan analisis dari perancangan *audio watermarking* yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang berhasil mendapatkan parameter terbaik yaitu N bernilai 5, N_{frame} bernilai 256 dan n_{bit} bernilai 4. Pengujian ketahanan sistem terhadap berbagai serangan mendapatkan hasil kualitas *audio* yang cukup baik, yaitu dengan nilai ODG sama dengan -0.07, SNR bernilai dari 2.8822 - 18.8423 dB dan *payload* sebesar 172.2656 bps. Sistem *audio watermarking* yang dirancang berhasil mendapatkan nilai BER rata-rata dibawah 0.2 atau < 20% setelah dilakukan berbagai penyerangan untuk masing-masing *audio host* yang diuji. Nilai BER rata-rata terkecil setelah diberi serangan adalah 0.13.

Daftar Pustaka:

- [1] R. Subhashini dan Dr. K. Boopathi Bagan, M.E., Ph.D., "Robust Audio Watermarking for Monitoring and Information Embedding," 2017 4th International Conference on Signal Processing, Communication and Networking, ISSCN 2017, 2017.
- [2] Yoshito Ishida, Kazuma Ikebe, Akira Morimoto dan Motoi Tatsumi, "Digital Audio Watermarking Method Based on Wavelet Transform," Proceedings of the 2015 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 2015.
- [3] Gelar Budiman, Andriyan Bayu Suksmono dan Donny Danudirdjo, "FFT Based Data Hiding on Audio in LWT-Domain Using Spread Spectrum Technique," ELEKTRONIKA IR ELEKTROTEKNIKA, 2020.
- [4] Gelar Budiman, Andriyan Bayu Suksmono dan Donny Danudirdjo, "CPT-Based Data Hiding in Selected Subband Using Combined Transform and Decomposition Method," 2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC), 2018.
- [5] Fikri Adhanadi, Ledy Novamizanti dan Gelar Budiman, "DWT-SMM-Based Audio Steganography with RSA Encryption and Compressive Sampling," TELKOMNIKA, Vol. 18, No. 2, 2020.
- [6] Alok Khumar C., Md. Ibrahim Khan dan Kaushik Deb, "A Robust Audio Watermarking in Cepstrum Domain Composed of Sample's Relation Dependent Embedding and Computationally Simple Extraction Phase," The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA), Vol. 6, No. 2, 2014.
- [7] Allwinnaldo, Gelar Budiman, Ledy Novamizanti, Revin Naufal dan M. Rasyid Redha, "QIM-Based Audio Watermarking Using Polar-Based Singular Value in DCT Domain," 2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), 2019.
- [8] Min-jae Hwang, JeeSok Lee, MiSuk Lee dan Hong-Goo Kang, "SVD Based Adaptive QIM Watermarking on Stereo Audio Signals," IEEE, 2017.
- [9] Sheng-Bei Wang, Xu-Yang Liu, Xin Dang dan Jian-Ming Wang, "A Robust Speech Watermarking Based on Quantization Index Modulation and Double Discrete Cosine Transform," 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, CISP-BMEI 2017, 2017.
- [10] Fatek Saeed dan Anurag Dixit, "Digital Watermarking Techniques for Content Integrity on E-Learning Systems," 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GUCON 2018, 2018.
- [11] Gelar Budiman, Andriyan B. Suksmono, Donny Danudirdjo dan Syarahbil Pawellang, "QIM-based Audio Watermarking with Combined Techniques of SWT-DST-QR-CPT Using SS-based Synchronization," 2018 6th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2018, 2018.
- [12] K. R. Kakkirala, S.R. Chalamala dan B. M. R. G., "DWT-SVD Based Blind Audio Watermarking Scheme for Copyright Protection," ICALIP 2014 – 2014 International Conference on Audio, Language and Image Processing, Proceedings, pp. 180-183, 2015.