

IMPLEMENTASI AUDIO WATERMARKING BERBASISKAN SWT-DCT MENGGUNAKAN TEKNIK MULTIBIT SPREAD SPECTRUM PADA SUBBAND DAN SEGMENT ADAPTIF

AUDIO WATERMARKING IMPLEMENTATION BASED ON SWT-DCT USING MULTIBIT SPREAD SPECTRUM TECHNIQUE ON SUBBAND AND ADAPTIVE SEGMENT

Reyhan Kennard Abdalla¹, Gelar Budiman², Ledy Novamizanti³

1,2,3Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung 1

¹reyhankennard@student.telkomuniversity.ac.id, ²gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id,

³ledyaldn@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada zaman globalisasi ini, pesatnya perkembangan teknologi dan internet sangat vital karena merupakan tempat terjadinya pertukaran dan pengunduhan berbagai informasi bermanfaat. Namun, ada juga masalah yang timbul seperti pelanggaran hak cipta dan pendistribusian data di bidang industri musik secara ilegal. Salah satu solusi untuk melindungi hak cipta suatu data audio, diantaranya menggunakan teknik audio watermarking. Dalam jurnal ini, dirancang suatu sistem audio watermarking menggunakan metode penyisipan Multibit Spread Spectrum (Multibit SS) berbasis Stationary Wavelet Transform (SWT) sebagai proses dekomposisi sinyal dan memilih subband yang tepat pada saat penyisipan watermark dan Discrete Cosine Transform (DCT) sebagai pengubah sinyal host audio dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Penyisipan dengan metode Multibit SS digunakan agar keamanan watermark terjamin dengan cara menyebarkan bit-bit watermark pada host audio dan merepresentasikan Pseudo Noise Code (PN Code) untuk beberapa bit watermark. Hasil dari rancangan sistem ini adalah ketahanan sistem audio watermarking terhadap serangan-serangan yang diuji. Hasil dari uji coba serangan tersebut didapatkan nilai BER 0.013, nilai SNR 14 dB, nilai ODG -1.13, nilai kapasitas (C) 172.26 dan nilai MOS dengan rata-rata 4.1.

Kata Kunci : Audio Watermarking, Multibit SS, SWT, DCT, Matlab.

Abstract

In this era of globalization, the rapid development of technology and the internet is vital because it is a place for exchanging and downloading various useful information. However, there are also problems that arise such as copyright infringement and the illegal distribution of data in the music industry. One solution to protect the copyright of an audio data is using audio watermarking technique. In this journal, an audio watermarking system is designed using the insertion method of Multibit Spread Spectrum (Multibit SS) based on Stationary Wavelet Transform (SWT) as a signal decomposition process and for selecting the right subband at the time of the watermark insertion while Discrete Cosine Transform (DCT) are used to convert the audio host signal from time domain to frequency domain. Multibit SS embedding method is used in this system design so that the watermark security is guaranteed by spreading the watermark bits on the audio host and by representing the Pseudo Noise Code (PN Code) for several watermark bits. The result of this system design is the resilience of the audio watermarking system against tested attacks. The results of the attack test resulted in BER value of 0.013, SNR value is 14 dB, the ODG value is -1.13, with watermark capacity up to 172.26 and average MOS value of 4.1.

Keywords: Audio Watermarking, Multibit SS, SWT, DCT, Matlab.

1. Pendahuluan

Di abad ke 21 ini, peran teknologi informasi dan internet sangat penting berkat manfaat yang diberikannya. Di samping manfaat besar yang didapat oleh pengguna, ada juga masalah yang ditimbulkan diantaranya di bidang industri musik dan Kekayaan Intelektual (KI) [1]. Sudah terjadi banyak kasus pelanggaran hak cipta suatu karya belakangan ini, dari reproduksi yang tidak sah, manipulasi serta distribusi data multimedia digital (audio, video, gambar) tanpa izin yang harus segera ditangani [2]. Solusi dari masalah tersebut adalah membuktikan orisinalitas karya dengan *watermarking*, khususnya pada penelitian ini difokuskan pada *audio watermarking*.

Secara umum, *watermarking* merupakan suatu cara untuk menyisipkan atau menanamkan sebuah informasi (*watermark*) berupa catatan umum maupun rahasia kedalam suatu data digital (*file audio*) dalam penelitian ini sebagai *host*, dan *watermark* yang ditanamkan tidak dapat diketahui kehadirannya oleh indera manusia (penglihatan dan pendengaran) lalu dapat diekstrak kembali *watermark* yang ditanam untuk kepentingan tertentu [3]. Banyak metode yang telah digunakan untuk menyisipkan *watermark* seperti *Spread Spectrum* [4], *watermarking* berdasarkan *echo-hiding* [5]–[7], dan *watermarking* berdasarkan *patchwork* [8], [9].

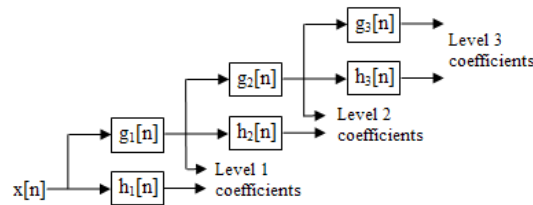
Pada jurnal ini, proses *watermarking* melalui 2 tahap, yaitu proses transformasi dan penyisipan. Pada proses transformasi, teknik yang digunakan adalah *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dan *Discrete Cosine Transform* (DCT). Lalu untuk proses penyisipan digunakan metode *Multibit Spread Spectrum* (*Multibit SS*) pada *subband* (daerah frekuensi tertentu) dan pemilihan segmen yang adaptif, menyesuaikan dengan kondisi *host* (*file audio*). Metode *Multibit SS* memanfaatkan penyisipan *watermark* dan struktur ekstraksi yang sederhana, namun juga memiliki kinerja unggul dalam hal *imperceptibility* (tidak diketahui oleh indera manusia), *security* (keamanan), dan *robustness* (ketahanan) terhadap serangan konvensional pula sebagai syarat *watermarking* yang baik [2], [4]. Metode SWT itu sendiri merupakan tahapan proses dari transformasi *wavelet* yang digunakan pada penelitian ini, dibanding transformasi lain, SWT merupakan transformasi yang lebih efisien karena pergeserannya invarian, keluaran bit sama jumlahnya pada saat *input* akibat sifat *redundancy* yang dimiliki dan prosedur SWT tidak menggunakan *down-sampling* melainkan *up-sampling* [10]–[12]. Pada teknik penyisipan yang telah disebutkan diatas, biasanya keamanan atau penyebaran data digunakan *Pseudo Noise Code* (PN Code) agar *attacker* yang melakukan penyerangan terhadap *watermark* sulit mengidentifikasi posisi *watermark*, sehingga data tidak dapat diekstraksi tanpa mengetahui PN code nya.

2. Dasar Teori dan Metodologi

Bab ini berisi tentang definisi dan konsep dasar dari metode-metode yang penulis gunakan untuk merancang tugas akhir ini.

2.1 *Stationary Wavelet Transform* (SWT)

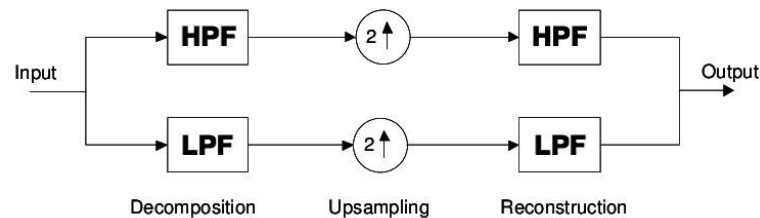
Stationary Wavelet Transform (SWT) merupakan algoritma transformasi yang melakukan proses dekomposisi frekuensi menjadi frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dan didesain sebagai generasi selanjutnya dari *Discrete Wavelet Transform* (DWT) untuk menutupi kekurangan translasi atau pergeseran invarian yang tak dimiliki oleh DWT. Pergeseran invarian menghasilkan keluaran bit yang sama dengan bit pada saat input akibat sifat redundansi yang dimilikinya sehingga menghindari kemungkinan bergesernya lokasi informasi saat diekstrak [11],[15]. Menghilangkan downsampling dan upsampling di DWT dan upsampling di ISWT, akan diperoleh pergeseran invarian pada SWT. Tidak adanya operator downsampling pada SWT yang membedakannya dengan DWT [16].



Gambar 1 Diagram Blok Stationary Wavelet Transform

Berdasarkan diagram blok SWT diatas, dapat dilihat bahwa $x[n]$ merupakan masukan dari sinyal wavelet dan dilakukan dekomposisi frekuensi rendah dan tinggi dengan melewati $x[n]$ kepada $g_{1,2,3}[n]$ sebagai Low Pass Filter (LPF) dan $h_{1,2,3}[n]$ sebagai High Pass Filter (HPF). Saat melewati sinyal di beberapa filter, sinyal SWT akan dihitung dari sinyal x , lalu sampel sinyal tersebut akan masuk melalui LPF dengan respon impuls g yang menghasilkan konvolusi keduanya, dimana $y[n]$ sebagai keluaran dari sinyal wavelet.

$$y[n] = (x * g)[n] = \sum x[k] g[n - k]; -\infty < k < \infty \quad (2.1)$$



Gambar 2 Dekomposisi Frekuensi Stationary Wavelet Transform

Selanjutnya sinyal akan didekomposisi secara simultan dengan menggunakan HPF, dan seperti pada gambar 2, kedua penyaringan tersebut akan menghasilkan koefisien detail (frekuensi tinggi) akibat konvolusi terhadap HPF dan koefisien aproksimasi (frekuensi rendah) akibat konvolusi terhadap LPF.

$$y_{low}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[n - k] \quad (2.2)$$

$$y_{high}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[n - k] \quad (2.3)$$

Pada kedua persamaan diatas, $y_{low}[n]$ sebagai keluaran wavelet hasil filter LPF ($g[n]$) dan $y_{high}[n]$ sebagai hasil keluaran wavelet hasil filter HPF ($h[n]$).

2.2 Multibit Spread Spectrum

Multibit Spread Spectrum (Multibit SS) merupakan perkembangan dari metode SS yang digunakan pada penelitian ini, masih dengan konsep yang tidak jauh beda, namun dengan kapasitas embedding lebih besar dari metode SS dengan menggunakan *Pseudo Noise* (PN) *sequence* untuk menyisipkan banyak bit *watermark* dalam segmen audio *host* [4]. Pemilihan PN *Sequences* dilakukan dengan mengkonversi bilangan biner kedalam desimal. Sehingga rumus penyisipan menjadi sebagai berikut:

$$Y(n) = X(n) + P_t \quad (2.4)$$

dengan P_t merupakan PN Sequences, $Y(n)$ merupakan sinyal *watermarked* audio, dan $X(n)$ sinyal audio *host* asli.

Pada proses ekstraksi, dilakukan korelasi antara PN Sequences dengan *watermarked* audio, dirumuskan sebagai berikut:

$$C_{orr} = |P_j * Y(n)^T| \quad (2.5)$$

dengan C_{orr} sebagai hasil dari korelasi, $Y(n)^T$ merupakan tranpose sinyal *watermarked* audio dan P_j sebagai PN Sequences.. Selanjutnya mencari posisi atau indeks dari *watermark* menggunakan hasil korelasi yang dirumuskan sebagai berikut:

$$i = \operatorname{argmax}(C_{orr}) \quad (2.6)$$

dengan i merupakan indeks *watermark* dan *argmax* sebagai fungsi nilai untuk menghasilkan keluaran maksimum. Hasil indeks yang masih dalam bilangan desimal akan dikonversi menjadi bilangan biner yang menjadi bit *watermark*.

2.3 Discrete Cosine Transform (DCT)

Discrete Cosine Transform (DCT) merupakan algoritma transformasi yang mampu mengubah sinyal pada domain waktu ke domain frekuensi dan dapat menunjukkan penjumlahan sampel sinyal audio pada transformasi kosinus dalam frekuensi yang berbeda. Proses encoding DCT dirumuskan sebagai berikut [13].

$$y(k) = x(k) \sum_{n=0}^{N-1} y(n) \cos\left(\frac{\pi(2n-1)(k-1)}{2N}\right) \quad (2.7)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$x(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & k = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

dengan $y(k)$ merupakan koefisien DCT dari hasil transformasi sinyal SWT, $y(n)$ merupakan sinyal dari audio *host* asli dan N adalah jumlah dari sampel. Penyumbatan energi pada transformasi DCT dapat mengurangi distorsi pada sinyal audio *host* saat proses audio *watermarking* [13]. Hasil dari encoding DCT, perlu dikembalikan lagi dari domain frekuensi menjadi domain waktu menggunakan proses *Inverse Discrete Cosine Transform* (IDCT), dirumuskan sebagai berikut:

$$y_w(n) = \sum_{k=1}^N w(k) y(k) \cos \frac{\pi(2n-1)(k-1)}{2N}, n = 1, \dots, N \quad (2.8)$$

dengan $y(k)$ merupakan hasil dari DCT

2.4 Bit Error Rate (BER)

BER merupakan suatu proses untuk menguji keutuhan suatu sistem audio *watermarking* dengan membandingkan bit hasil ekstraksi setelah dilakukan penyerangan dengan bit yang dikirim sebelum dilakukan penyerangan. Persamaan BER dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$BER = \frac{\text{Jumlah Bit Error}}{\text{Jumlah Bit Keseluruhan}} \times 100\% \quad (2.9)$$

dengan jumlah *bit error* merupakan banyaknya bit yang berbeda antara bit pengirim dan hasil ekstraksi. Sedangkan *jumlah bit keseluruhan* merupakan jumlah keseluruhan dari bit *watermark*.

2.5 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR merupakan metode untuk mengukur kualitas audio dengan membandingkan *watermarked* audio $x_w(n)$ dengan audio *host* $x(n)$. Jika hasil SNR > 20dB, maka *watermarked* audio dinyatakan bagus karena informasi yang disisipkan sulit dideteksi. Perhitungan SNR digunakan rumus sebagai berikut:

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_0^{N-1} x^2(n)}{\sum_0^{N-1} [x_w^2 - x(n)]^2} \quad (2.10)$$

2.6 Objective Difference Grade (ODG)

ODG merupakan parameter *perceptibility* dan *imperceptibility* suatu kualitas *watermarked* audio, yang berdasar pada standar ITU-R (Internal Telecommunication Union Radio Communication Sector) BS. 1387-1. Untuk ODG, dihitung menggunakan PEAQ (*Perceptual Evaluation of Audio Quality*) yang merupakan perhitungan pemrosesan sinyal. Berikut nilai-nilai ODG direpresentasikan pada Tabel 2.1:

Tabel 1 Objective Difference Grade (ODG)

Skala ODG	Deskripsi
0	<i>Imperceptible</i>
-1	<i>Perceptible But Not Annoying</i>
-2	<i>Slightly Annoying</i>
-3	<i>Annoying</i>
-4	<i>Very Annoying</i>

2.7 Mean Opinion Score (MOS)

Mean Opinion Score (MOS) merupakan penilaian kualitas hasil audio *watermarking* secara subjektif berdasarkan pengamatan dan pendengaran manusia dengan membandingkan perbedaan kualitas audio *host* asli dengan *watermarked* audio *host*. Pada tabel 2.2 merupakan kriteria penilaian MOS yaitu:

Tabel 2 Mean Opinion Score

Nilai	Kualitas Audio	Keterangan
1	Sangat Buruk	Audio Host Sangat Rusak
2	Buruk	Audio Host Rusak
3	Cukup Mengganggu	Watermark mengganggu audio host
4	Baik	Watermark sedikit terdengar
5	Sangat Baik	Audio host dan audio watermark terdengar sama

2.8 Capacity (C)

Capacity adalah parameter dari kuantitas informasi yang disisipkan bergantung pada seberapa besar kapasitas yang didapat. Semakin besar kapasitas, semakin banyak informasi yang dapat disisipkan. Dengan rumus berikut dapat diketahui nilai kapasitas.

$$C = \frac{\text{panjang watermark}}{\text{panjang audio host}} \times f_s \quad (2.11)$$

Keterangan : f_s adalah frekuensi sampling dari audio *host*

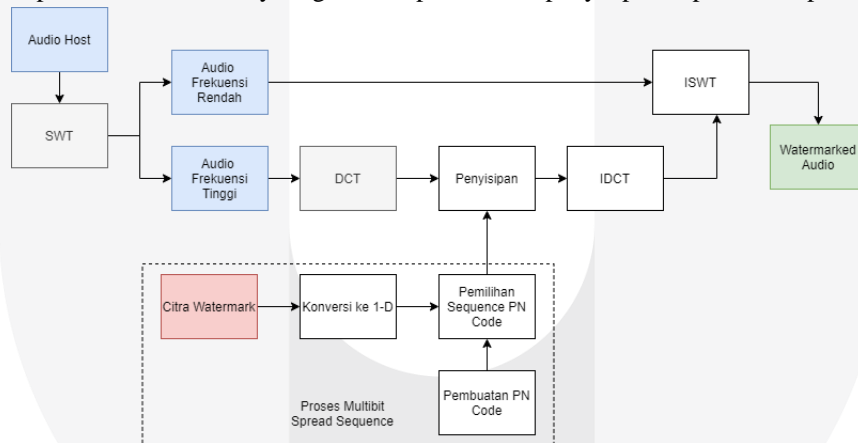
3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

Dalam penelitian ini akan dirancang sebuah sistem audio *watermarking* yang dibagi 2 tahap, yaitu tahap penyisipan *watermark* dengan menyisipkan citra biner ke dalam data *host* yang berupa *file audio* asli berformat *.wav, dan menghasilkan *file audio ter-watermark*. Lalu pada tahap kedua akan dilakukan proses ekstraksi terhadap data *watermark* yang sudah berada dalam *file audio ter-watermark*.

3.2 Skema Penyisipan

Proses penyisipan (*embedding*) dilakukan dengan metode SWT-DCT terhadap audio *host*, sedangkan untuk *watermark* berupa citra, digunakan metode *Multibit SS* untuk menyisipkannya kedalam *host* pada subband dan daya segmen adaptif. Skema penyisipan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema Penyisipan Multibit SS berbasis SWT-DCT

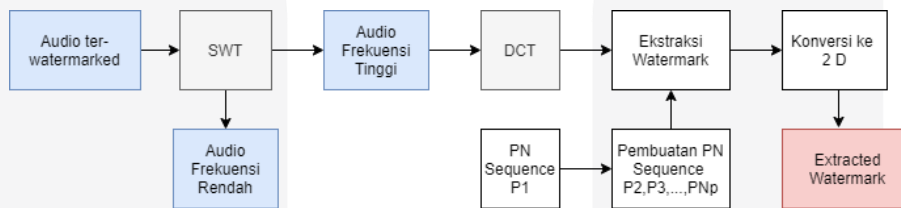
Skema penyisipan dijelaskan dalam langkah-langkah berikut:

1. *Input audio host* ternormalisasi.
2. Lakukan pembatasan pada *host audio* untuk membatasi panjang keluaran.
3. Dekomposisi *host audio* menggunakan SWT menggunakan persamaan (2.2) dan (2.3), menghasilkan dua bagian frekuensi hasil penyaringan dari audio *host*, yaitu audio frekuensi tinggi dan audio frekuensi rendah dengan adanya filter LPF dan HPF. Hasil dekomposisi diolah dengan DCT, mengubah koefisien sinyal dalam domain waktu kedalam domain frekuensi menggunakan persamaan (2.7)
4. Konversi *watermark* dengan matriks 2-D jadi matriks 1-D.

5. *Image watermark* yang sudah dalam bentuk satu dimensi selanjutnya disisipkan (*embedding*) pada *host audio*, proses *embedding* dilakukan dengan metode *Multibit SS* yang penyisipan *watermark* dilakukan pada saat daya segmen diatas nilai ambang batas audio (*threshold*) dan pada audio frekuensi tinggi karena sinyal audio dominan di frekuensi rendah, ketika metode *Multibit SS* disisipkan di frekuensi rendah bit *watermark* akan rusak akibat interferensi sinyal audio yang dominan di frekuensi rendah. Maka penyisipan dilakukan pada frekuensi tinggi karena sinyal bernilai 0 yang berarti cocok dan tidak akan menginterferens bit *watermark*.
6. Setelah proses *embedding* selesai, *host audio* masuk ke dalam IDCT (*Inverse DCT*), untuk pengubahan domain frekuensi ke domain waktu dan masuk ke dalam ISWT (*Inverse SWT*) untuk mengembalikan sinyal awal dari sinyal dekomposisi.
7. Lalu didapatkan audio yang telah disisipkan suatu informasi atau yang disebut *watermarked audio*.

3.3 Skema Ekstraksi

Masukan pada sistem dalam proses ekstraksi adalah *watermarked audio* yang telah diuji ketahanannya dengan serangan. Hasil yang didapat dari proses ekstraksi adalah nilai ketahanan dari suatu *watermark* yang telah disisipkan kedalam suatu audio digital. Skema ekstraksi dengan metode penyisipan *Multibit SS* berbasis SWT-DCT terdapat pada gambar 3.3.



Gambar 4 Diagram Blok Ekstraksi

Gambar 3.4 memvisualisasikan tahapan-tahapan dalam proses *extraction*. Proses tahapannya dijabarkan sebagai berikut :

1. Setelah melalui uji coba serangan, *watermarked audio* akan melewati proses SWT, yang akan menghasilkan koefisien aproksimasi dan koefisien detail menggunakan Persamaan (2.2) dan (2.3).
2. Selanjutnya *watermarked audio* dilakukan proses DCT untuk menyelaraskan dengan koefisien *watermarked audio* pada domain frekuensi.
3. Diambil representasi *PN Sequences* dan didapatkan hasil korelasi menggunakan Persamaan (2.5)
4. Dalam mendapatkan nilai yang akan dikonversi ke biner, hasil korelasi diolah menggunakan Persamaan (2.6)
5. Hasil dari Persamaan (2.6) dikonversi ke bilangan biner yang merupakan satu dimensi.
6. Terakhir, konversi matriks 1-D menjadi matriks 2-D yang akan diplot untuk melihat hasil akhir citra tersebut.

4. Pembahasan

Pada bab ini dipaparkan hasil pengujian dan analisis terhadap sistem audio *watermarking* menggunakan *multibit SS* berbasiskan SWT-DCT, dengan parameter optimal yang telah didapat. Hasil

pengujian juga disertakan dengan kualitas sistem audio *watermarking* berdasarkan BER, SNR, ODG, MOS dan C. Berikut data audio host berdasarkan pada tabel 3 ini.

Tabel 3 Data Audio Host

Host	Audio
1	voice.wav
2	africa-toto.wav
3	beautiful_life-ace_of_base.wav
4	i_ran_so_far_away-flock_of_seagulls.wav
5	temple_of_love-sisters_of_mercy.wav



Gambar 5 Citra Watermark

4.1 Hasil Uji Ketahanan

Pada subbab ini akan dijelaskan pengaruh dari perubahan parameter tanpa serangan terhadap performansi sistem audio watermarking dilihat dari nilai ODG, SNR, BER dan C yang terbaik. Parameter yang digunakan adalah subband, jbsf, LN dan N serta hasil parameter terbaik tiap tahap akan digunakan untuk pengujian tahap selanjutnya.

4.1.1 Hasil Optimal Tanpa Serangan

Setelah melakukan perubahan parameter nilai LN hingga nilai *Subband* didapatkan nilai optimal tanpa serangan berdasarkan nilai ODG tertinggi. Hasil optimal tanpa serangan adalah sebagai berikut.

Tabel 4 Hasil Optimal Tanpa Serangan

N	LN	Subband	jbsf	rps	ODG	SNR	BER	C
7	4096	128	3	0	-0.57	34.0894	0	27.6855

Hasil optimal pada Tabel 4 yang digunakan pada pengujian tanpa serangan adalah parameter N = 7 dan *Subband* = 128.

4.1.2 Ketahanan Audio Terhadap Serangan

Pemilihan parameter optimal dilakukan dengan memberi serangan kompresi MP3 pada frekuensi 64k kepada lima audio host yang ditentukan dengan mengubah-ubah nilai rps hingga menemukan nilai BER terbaik yaitu dibawah 20% atau 0.2. Hasil parameter optimal pengujian dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Parameter Optimal Serangan Kompresi MP3 64k

Host	N	Subband	LN	jbsf	rps	ODG	SNR	C	MOS	BER MP3 64k
1	7	128	512	2	18	-1.1333	8.7913	172.266	4	0.04321
2	7	128	512	2	18	-1.1411	5.8071	161.938	4	0.05995
3	7	128	512	2	25	-1.7518	14.2842	142.424	4	0.02738
4	7	128	512	2	22	-1.459	10.7068	155.355	4	0.03547
5	7	128	512	2	25	-1.9297	5.3292	166.783	4	0.02768

4.1.3 Ketahanan Audio Terhadap Semua Serangan

Pada bagian ini akan ditunjukkan terkait ketahanan sistem audio *watermarking* dengan menggunakan parameter optimal hasil serangan kompresi MP3 64k. Parameter optimal akan diberikan seluruh serangan pengolahan sinyal. Pada tabel 6 menunjukkan hasil BER rata-rata untuk setiap audio *host* yang telah diberikan serangan.

Tabel 6 BER Rata-Rata Setelah Diberi Serangan






Host	BER Rata-rata
voice.wav	0.090368
africa-toto.wav	0.081779
beautiful_life-ace_of_base.wav	0.08254
i_ran_so_far_away-flock_of_seagulls.wav	0.0842
temple_of_love-sisters_of_mercy.wav	0.08235

Berdasarkan Tabel menunjukkan bahwa sistem tahan terhadap seluruh serangan pengolahan sinyal yang telah diberikan.

4.1.4 Watermark Hasil Ekstraksi

Watermark hasil ekstraksi setelah diberi berbagai macam serangan menghasilkan nilai BER yang beragam untuk setiap audio *host*. Berikut hasil ekstraksi *watermark* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Watermark Hasil Ekstraksi

Rentang BER	BER	Hasil Ekstraksi
0.01-0.05	0.015	
0.05-0.1	0.074375	
0.1-0.15	0.13125	
0.15-0.2	0.18812	
0.2-0.25	0.22875	

4.1.5 Analisis Performansi Audio Watermarking Dengan Penilaian MOS

Mean Opinion Score (MOS) merupakan penilaian kualitas hasil audio *watermarking* secara subjektif berdasarkan pengamatan dan pendengaran manusia dengan membandingkan perbedaan kualitas audio *host* asli dengan *watermarked* audio. MOS memiliki skala 1 sampai 5, dimana skala 1 dinilai audio hasil *watermarking* sangat buruk artinya audio *host* sangat rusak setelah disisipi *watermark*. Sedangkan untuk skala 5 dinilai sangat baik yang berarti audio *host* dan *watermarked* audio terdengar sama. Pengujian kualitas sistem dilakukan dengan survei perbedaan antara 5 audio *host* asli dengan 5 *watermarked* audio *host* kepada 30 responden. Berikut hasil penilaian rata-rata MOS survei 30 responden pada tabel 8:

Tabel 8 Hasil Rata-rata MOS

Host	Rata-rata MOS
------	---------------

voice.wav	3.966667
africa-toto.wav	3.966667
beautiful_life-ace_of_base.wav	4.1
i_ran_so_far_away-flock_of_seagulls.wav	4
temple_of_love-sisters_of_mercy.wav	4

4.1.6 Perbandingan Umum Antara Metode

Pada subbab ini akan dilakukan perbandingan performansi sistem audio *watermarking* antara metode yang diusulkan dengan metode yang telah dilakukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Berikut perbandingan performansi antara metode yang diusulkan dengan metode dalam referensi [10], [14], [15], [16], dan [17] pada tabel 4.12 dan 4.13:

Tabel 9 Perbandingan Umum ODG, SNR dan Payload Antara Metode

Ref	ODG	SNR	Payload
[10]	0.0961	30,3141	NA
[14]	-0.73	34.58	172.39
[15]	NA	NA	93.75
[16]	NA	32.082	NA
[17]	-1.48	32.0658	172.2653
Proposed	-1.1333	14.2842	172.27

Tabel 10 Perbandingan Umum BER Antara Metode

BER							
LPF 6k	LPF 9k	Resampling 22.05k	Requantization 8 bit	AWGN 30 dB	MP3 64k	MP3 96k	MP3 128k
0	0	0	NA	NA	8.6	NA	3
NA	NA	1.27	0	NA	NA	NA	3.32
NA	NA	NA	NA	15.11	35.99	NA	28.45
NA	5.84	11.08	2	NA	2.18	2.16	2.18
19	13	8.6	9.6	6.1	7.8	7/07	6.8
20.313	6.75	17.313	0	0	5	0.05	0.0375

5. Kesimpulan

Sistem audio watermarking berhasil dirancang dengan kinerja baik karena telah memenuhi kriteria performansi audio yang baik yaitu nilai BER dibawah 0.2 menunjukkan tahan terhadap serangan, SNR minimal 20 dB, *payload* diatas 84 bps dan nilai MOS dengan rata-rata 4 menunjukkan kualitas *watermarked* audio yang baik. Parameter tersebut didapatkan dengan memeberikan serangan terhadap *watermarked* audio menghasilkan nilai BER rata-rata 0.081, nilai ODG -1,1333, SNR bernilai 14,2842 dB, *payload* 172.27 dan melakukan survei kepada 30 responden mendapatkan nilai MOS 4.1 membuktikan bahwa kualitas *watermarked* audio masih dapat terdengar jelas dengan watermark sedikit terdengar namun tidak mengganggu.

References

- [1] G. Fadhila., U. Sudjana, "Perlindungan karya cipta lagu dan/atau musik yang dinyanyikan ulang (*Cover Song*) di Jejaring Media Sosial Dikaitkan Dengan Hak Ekonomi Berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta", *ACTA DIURNAL Jurnal Ilmu Hukum Kenotariatan*, vol. 1, no.2, pp.222-235, 2018..
- [2] Y. Xiang, I. Natgunanathan, D. Peng, G. Hua, and B. Liu, "Multiple Orthogonal PN Sequences

and Variable Embedding Strengths and Polarities”, *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 26, no. 3, pp. 529–539, 2017.

- [3] A. Valizadeh, S. Member, and Z. J. Wang, “Correlation-and-Bit-Aware Spread Spectrum Embedding for Data Hiding”, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 6, no. 2, pp. 267–282, 2010.
- [4] Y. Xiang, S. Member, I. Natgunanathan, and Y. Rong, “Spread Spectrum Based High Embedding Capacity Watermarking Method for Audio Signals”, *IEEE/ACM transactions on audio, speech, and language processing*, vol. 23, no. 12, pp. 2228–2237, 2015..
- [5] H. Wang, R. Nishimura, Y. Suzuki, and L. Mao, “Fuzzy self-adaptive digital audio watermarking based on time-spread echo hiding”, *Applied Acoustics* 69, vol. 69, no.10, pp. 868–874, 2008.
- [6] O. T. Chen and W. Wu, “Highly Robust , Secure , and Perceptual-Quality Echo Hiding Scheme”, *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* , vol. 16, no. 3, pp. 629–638, 2008..
- [7] Y. Xiang, I. Natgunanathan, D. Peng, W. Zhou, and S. Yu, “A Dual-Channel Time-Spread Echo Method for Audio Watermarking”, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 7, no. 2, pp. 383–392, 2011.
- [8] H. Kang, K. Yamaguchi, and B. Kurkoski, “Full-Index-Embedding Patchwork Algorithm for Audio”, *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 91, no. 11, pp. 2731–2734, 2008.
- [9] I. Natgunanathan, Y. Xiang, Y. Rong, S. Member, W. Zhou, and S. Member, “Robust Patchwork-Based Embedding and Decoding Scheme for Digital Audio Watermarking”, *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 20, no. 8, pp. 2232–2239, 2012..
- [10] L. Novamizanti, G. Budiman, and B. A. Wibowo, “Optimasi Sistem Penyembunyian Data pada Audio menggunakan Sub-band Stasioner dan Manipulasi Rata-rata Statistik”, *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 6, no. 2, pp. 165, 2018.
- [11] P. V Nagarjuna and K. Ranjeet, “Robust Blind Digital Image Watermarking Scheme Based on Stationary Wavelet Transform”, *2013 Sixth International Conference on Contemporary Computing (IC3)*, pp. 451–454, 2013.
- [12] Y. Ishida, K. Ikebe, A. Morimoto, and M. Tatsumi, “Digital Audio Watermarking Method Based on Wavelet Transform”, *In 2015 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)*., vol. 1, pp. 87-92, 2015.
- [13] N. V. Lalitha, P. V. Prasad, and S. U. M. Rao, “Performance analysis of DCT and DWT audio watermarking based on SVD,” *In 2016 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, pp. 1-5, 2016
- [14] P. K. Dhar, “A blind audio watermarking method based on lifting wavelet transform and QR decomposition,” *8th International Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp. 136–139, 2015.
- [15] M. J. Hwang, J. Lee, M. Lee, and H. G. Kang, “SVD-Based adaptive QIM watermarking on stereo audio signals”, *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 20, no. 1, pp. 45–54, 2018,

- [16] G. Budiman, A. B. Suksmono, and D. Danudirdjo, "FFT-based data hiding on audio in LWT-domain using spread spectrum technique," *Elektron. ir Elektrotechnika*, vol. 26, no. 3, pp. 20–27, 2020.
- [17] R. A. Pramesti, G. Budiman, and S. Saidah, "Analisis dan Perancangan Audio Watermarking Berbasis LWT-DCT-QR-CPT dengan metode hybrid QIM dan Spread Spectrum", Universitas Telkom, 2020.

