



JESCE
(Journal of Electrical and System Control Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>

**PERBAIKAN DETEKSI WATERMARK MENGGUNAKAN
EKSTRAKSI FITUR BENTUK PADA AUDIO WATERMARKING
BERBASISKAN TEKNIK DWT-SVD-QIM PADA SEGMENT AUDIO
ADAPTIF**

**IMPROVED WATERMARK DETECTION USING EXTRACTION
SHAPE FEATURES IN AUDIO WATERMARKING BASED ON
DWT-SVD-QIM TECHNIQUE IN ADAPTIVE AUDIO SEGMENT**

Nugraeni Kholifaturrofiah¹⁾*, Gelar Budiman²⁾ & Syamsul Rizal³⁾

1)Teknik Tekekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia

2)Teknik Tekekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia

3)Teknik Tekekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia

*Corresponding author: nugraenieva@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Di era globalisasi saat ini lebih mudah untuk mengakses informasi melalui berbagai media. Sehingga banyak ditemukan kasus pelanggaran hak cipta. Penelitian ini menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan mengaplikasikan teknik *watermarking*. Pada penelitian ini dilakukan perbaikan tingkat akurasi deteksi *watermark* dengan menggunakan ekstraksi fitur bentuk untuk mengekstrak informasi dari suatu audio sehingga hak cipta dari data digital dapat terlindungi dari pihak-pihak yang menyalahgunakannya. Metode yang digunakan pada Tugas Akhir ini yaitu *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Singular Value Decomposition* (SVD), dan *Quantization Index Modulation* (QIM). Hasil yang diperoleh menunjukkan kualitas *watermark* ketika dilakukan pengujian dengan menggunakan parameter SNR, ODG dan MOS. ODG bernilai -0.02, SNR bernilai 33.20 dB, untuk rata-rata MOS tertinggi bernilai 4.60 dan besar kapasitas (C) bernilai 215.72 bps. Ketahanan *watermark* (BER) rata-rata terkecil bernilai 22% dan tingkat akurasi deteksi *watermark* (CDR) rata-rata tertinggi sebesar 71%.

Kata Kunci: *Audio watermarking, Discrete Wavelet Transform, Ekstraksi fitur, Singular Value Decomposition, Quantization Index Modulation*

Abstract

In the current era of globalization, it is easier to access information through various media. So that many causes determine copyright by irresponsible parties. This research is proposed one solution to overcome these problems, by applying watermarking techniques. This research to improve the accuracy of watermark detection by using form feature extraction to extract information from an audio so that the copyright of digital data can be protected from parties who abuse it. The methods used in this final project are *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Singular Value Decomposition* (SVD), and *Quantization Index Modulation* (QIM). The results obtained indicate the watermark's quality when tested using SNR, ODG, and MOS parameters. ODG is -0.02, SNR has a value is 33.20 dB, for the highest

average MOS is 4.60. And the amount of capacity (C) is 215.72 bps. The smallest average (BER) is 22%, and the highest average watermark detection rate (CDR) is 71%.

Keywords: *Audio watermarking, Discrete Wavelet Transform (DWT), Feature Extraction, Singular Value Decomposition (SVD), Quantization Index Modulation (QIM)*

How to Cite: Kholifaturrofiah, N, Budiman, G, & Rizal, S. (2021). Perbaikan Deteksi Watermark Menggunakan Ekstraksi Fitur Bentuk Pada Audio Watermarking Berbasiskan Teknik Dwt-Svd-Qim Pada Segmen Audio Adaptif. JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering). 5 (1): 11-21

PENDAHULUAN

Di era globalisasi seperti sekarang ini perkembangan teknologi sangat pesat, sehingga memudahkan bagi siapapun untuk mengakses informasi. Hal tersebut menyebabkan maraknya kasus pelanggaran hak cipta oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab. Maka dari itu dibutuhkan suatu teknik untuk mengidentifikasi kepemilikan hak cipta. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan mengaplikasikan teknik *watermarking* pada suatu informasi agar menghindari tindak-tindak ilegal. Penelitian ini penting dilakukan untuk memperbaiki tingkat akurasi deteksi *watermark* pada audio sehingga hak cipta dari data digital dapat terlindungi dari pihak-pihak yang menyalahgunakannya.

Watermarking adalah teknik yang menyembunyikan informasi biner di dalam sinyal dengan cara yang tidak terlihat. Teknik digital *audio watermarking* memberikan solusi untuk melindungi pelanggaran hak cipta. Terdapat karakteristik teknik *audio watermarking* pada suatu dokumen diantaranya *imperceptibility*, *robustness*, dan *capacity*. Karakteristik tersebut merupakan tolak ukur kualitas perancangan *watermarking*. Terdapat proses dasar pada digital *audio watermarking* antara lain penyisipan *watermark*, dan ekstraksi *watermark*.

Pada penelitian ini akan dilakukan deteksi *audio watermarking* menggunakan metode transformasi *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Singular Value Decomposition* (SVD), dan *Quantization Index Modulation* (QIM).

Manfaat QIM dibidang *watermarking* tidak hanya dapat mencapai kinerja yang baik terhadap kapasitas dan ketahanan, namun juga merupakan teknik yang sangat sederhana untuk diterapkan (Lei, 2011).

Dalam merancang *audio watermarking* dapat menggunakan berbagai metode. Pada penelitian [5], menerapkan penggunaan metode SVD-DCT dan teknik kode sinkronisasi. Pada hasil simulasi menunjukkan bahwa teknik *audio watermarking* memiliki ketahanan yang baik untuk operasi pemrosesan sinyal umum, selain itu skema yang diusulkan mencapai tingkat probabilitas *error* yang rendah. Parameter optimal yang dihasilkan yaitu menampilkan nilai SNR lebih dari 20 dB. Namun, nilai *payload* yang didapatkan pada penelitian ini cukup rendah yaitu hanya 43 bps. Menurut penelitian [6], mengusulkan teknologi *watermarking audio digital blind* yang tidak memenuhi syarat dalam modulasi QIM dan dekomposisi SVD dari sinyal audio stereo. Dengan ukuran yang digunakan pada penelitian ini metode SVD menjadi tidak stabil sehingga menyebabkan hilangnya informasi dan nilai BER tinggi.

Pada penelitian [7], mengusulkan metode *watermarking blind audio* dengan memeriksa kembali fitur-fitur DWT-DCT. Metode yang diusulkan menghasilkan kapasitas 86 bps. Metode yang diusulkan menunjukkan keefektifan dalam menjaga kualitas audio setelah *watermarking*, selain itu juga memberikan kinerja BER yang baik terhadap beberapa serangan pemrosesan sinyal. Namun, pada penelitian ini masih kurang apabila

diserang menggunakan serangan TSM yang lebih buruk seperti “*time-invariant pitch-shifting*” dan “*pitch-invariant time-scaling*”.

Menurut penelitian [8] dilakukan skema *audio watermarking* dengan metode DWT. Pada penelitian ini algoritma yang diusulkan bekerja lebih baik dibandingkan dengan teknik tradisional, selain itu hasil yang diperoleh memenuhi persyaratan audio yang optimal. Pada penelitian [9] mengusulkan algoritma *watermarking* baru yang didasarkan pada SVD dan DWT. Bit data *watermark* disisipkan berdasarkan metode QIM. Algoritma ini memiliki *imperceptibility* yang baik dan tahan terhadap berbagai jenis serangan pemrosesan sinyal. Menurut penelitian [10] diusulkan skema *watermarking audio* yang efisien dan kuat berdasarkan SVD dan QIM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa skema yang diusulkan tidak hanya memberikan *imperceptibility* yang baik, tetapi juga ketahanan terhadap serangan pemrosesan sinyal. Metode yang diusulkan memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan metode *watermarking audio* yang lain.

METODE PENELITIAN

Metode-metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Singular Value Decomposition* (SVD), dan *Quantization Index Modulation* (QIM).

Discrete Wavelet Transform (DWT)

Discrete Wavelet Transform (DWT) memiliki fungsi untuk menampilkan sinyal dalam beberapa komponen frekuensi dengan cara mendekomposisi

sinyal menjadi frekuensi tinggi dan frekuensi rendah yang masing-masing dihubungkan dengan low pass filter dan high pass filter. DWT sangat cocok digunakan untuk menentukan daerah frekuensi dari sinyal audio yang tepat agar penyimpanan watermark lebih efektif. Sinyal asli $x[n]$ pertama kali melewati half band high pass filter $g[n]$ dan low pass filter $h[n]$. Dekomposisi satu level dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$Y_{high}[k] = \sum_n x[n].h[2k - n]$$

$$Y_{low}[k] = \sum_n x[n].g[2k - n]$$

Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) merupakan teknik yang dalam proses penyisipan audio ditransformasikan menjadi matriks dua dimensi dan kemudian didekomposisi menjadi tiga matriks U, S, dan V dengan menerapkan SVD. Dimana U sebagai matriks orthogonal, S sebagai matriks diagonal, V sebagai matriks transpose yang orthogonal. Menurut teori aljabar linier, setiap matriks dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$A = USV^t$$

Quantization Index Modulation (QIM)

Quantization Index Modulation (QIM) adalah metode yang digunakan untuk penyisipan dengan memanfaatkan proses kuantisasi. Penyisipan dilakukan pada nilai maksimal Persamaan QIM untuk proses penyisipan dan proses ekstraksi adalah sebagai berikut :

Proses Penyisipan

$$F'(0) = A_k \text{ dan } \arg \min |F(0) - A_k|$$

$$F'(0) = B_k \text{ dan } \arg \min |F(0) - B_k|$$

Dimana nilai A_k dan B_k adalah:

$$A_k = (2k + \frac{1}{2})\Delta$$

$$B_k = (2k - \frac{1}{2})\Delta$$

Proses Ekstraksi

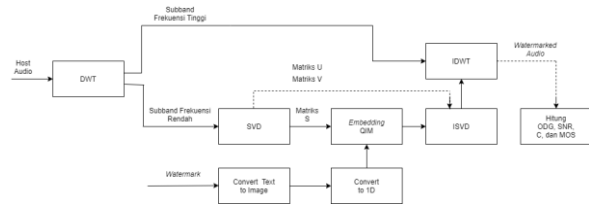
$$\widehat{W}(k) = \left\lfloor \frac{F(0)}{\Delta} \right\rfloor \text{ mod } 2$$

$$\Delta = \left(\frac{1}{2^{(n\text{bit}-1)}} \right)$$

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem secara keseluruhan pada lima file *host audio* berformat .wav dengan data yang disisipkan berupa teks 'EVA' yang memiliki resolusi 48×14. Pada sistem proses dibagi menjadi dua bagian yaitu proses *embedding* dan proses ekstraksi. Pada proses *embedding watermark* akan dilakukan dengan adaptasi segmen. *Watermark* disisipkan pada file audio yang telah dipilih sehingga menghasilkan *watermarked audio*. Tahap kedua yaitu proses ekstraksi yang merupakan pengambilan kembali *watermarked*.

Penyisipan

Proses penyisipan dilakukan dengan menerapkan adaptasi segmen yang bertujuan memeriksa tempat yang layak untuk *watermark* pada segmen.



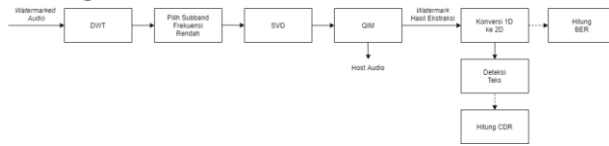
Gambar 1. Proses Penyisipan

1. Membaca file *watermark*.
2. Konversi file *watermark* yang berupa teks ke bentuk citra.
3. Lakukan konversi *watermark* dari matriks menjadi 1D.
4. Baca file *host audio*.
5. Lakukan dekomposisi DWT^(2.9) yang bertujuan membagi subband frekuensi tinggi dan frekuensi rendah^(2.10).
6. Dekomposisi SVD pada subband frekuensi rendah. Sedangkan frekuensi tinggi akan menuju proses IDWT.
7. Proses SVD akan mendekomposisikan suatu matriks menjadi tiga yaitu U, V dan S. Matriks U dan V akan diteruskan menuju ISVD. Sedangkan matriks S diproses pada proses penyisipan QIM.
8. Lakukan proses ISVD untuk menggabungkan U, V, dan S sehingga *host audio* kembali ke bentuk semula.
9. Selanjutnya lakukan dekomposisi IDWT untuk mengembalikan sinyal sebagai sinyal asli sehingga menghasilkan *watermarked audio*.
10. Hitung kualitas *watermarked audio* dengan parameter ODG, SNR, C, dan MOS.

Ekstraksi

Proses ekstraksi merupakan proses pengambilan kembali *watermarked* dari suatu *watermarked audio* yang telah

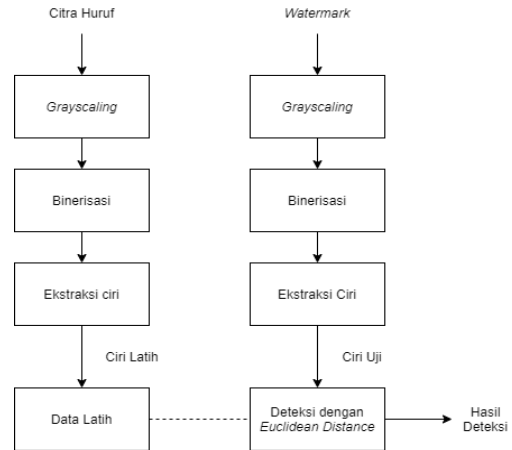
diberi serangan maupun sebelum diberi serangan.



Gambar 2. Proses Ekstraksi

Proses tahapannya dijelaskan sebagai berikut:

1. Membaca file *watermarked audio*
2. Lakukan dekomposisi DWT untuk memisahkan *subband* frekuensi tinggi dan *subband* frekuensi rendah.
3. Tahap berikutnya yaitu dekomposisi dengan SVD, sehingga menghasilkan tiga matriks yaitu U,V dan S^T . Matriks S^T akan diteruskan menuju proses ekstraksi QIM.
4. Dekuantisasi dengan QIM pada diagonal matriks S^T .
5. Dari proses ekstraksi QIM didapatkan *host audio* dan *watermark* hasil ekstraksi.
6. Tahap berikutnya mengubah *watermark* 1D menjadi 2D, kemudian dilakukan perhitungan parameter BER.
7. Lalu lakukan pendeteksian teks dengan ekstraksi ciri .
8. Perhitungan CDR untuk pengujian akurasi deteksi *watermark*.



Gambar 3. Pelatihan dan Pengujian

Sistem ini dibagi menjadi 2 tahap yaitu proses pelatihan dan pengujian. Data latih yang digunakan berupa citra huruf yang terdiri dari angka 1 sampai 9 dan huruf A sampai Z. Sedangkan data uji berupa watermark hasil ekstraksi QIM. Berikut merupakan tahapan proses pelatihan dan pengujian:

1. Proses pelatihan dan pengujian memiliki tahap yang hampir sama.
2. Sistem diawali dengan membaca data latih dan data uji pada masing-masing proses.
3. Lakukan *grayscale* untuk mengubah citra huruf berwarna menjadi keabuan
4. Selanjutnya yaitu binerisasi dimana dilakukan konversi dari *grayscale* menjadi biner.
5. Hasilnya akan diteruskan ke proses ekstraksi ciri untuk mengambil ciri penting.
6. Didapatkan hasil ekstraksi ciri pada masing-masing proses berupa ciri latih dan ciri uji.
7. Lakukan tahap pencocokan antara data yang diujikan dengan data latih dengan *euclidean distance*.

8. Didapatkan hasil deteksi.

$$BER = \frac{\epsilon}{n_1 \times n_2} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil pengujian dan analisis dari metode yang diterapkan dengan melakukan perubahan parameter hingga mendapatkan parameter optimal yang menghasilkan SNR, ODG, BER dan C terbaik. Parameter tersebut meliputi N Frame, nbit, N dan *subband*. Host audio pada pengujian berjumlah lima file dengan format .wav yang memiliki frekuensi sampling sebesar 44100 Hz.

Tabel 1. File Audio

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



Gambar 4 Citra Watermark

Parameter Pengujian

Bit Error Rate (BER)

BER merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur *robustness watermark* yang telah diekstraksi. Perhitungan BER dapat menggunakan persamaan berikut:

Signal-to-Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbedaan metrik yang digunakan untuk mengukur kesamaan antara sinyal audio asli yang tidak terdistorsi dan sinyal *audio watermarked* yang terdistorsi. Menurut *International Federation of the Phonographic Industry (IFPI)*, persyaratan dasar *audio watermarking* yang baik adalah nilai SNR diatas 20 dB. Perhitungan SNR dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SNRL = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=0}^{N-1} A_n^2}{\sum_{n=0}^{N-1} (A_n - A'_n)^2}$$

Capacity (C)

Capacity adalah merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan jumlah bit yang dapat disisipkan ke dalam *host audio* dalam *bit per second* (bps). Perhitungan *capacity* pada *watermark* dalam bps dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{L_w \cdot F_s}{L}$$

Parameter Optimal Tanpa Serangan

Tabel 2. Hasil Optimal Tanpa Serangan

N	2
N Frame	16
Subband qim	2
Nbit	5
ODG	-1.76
SNR	3.8509
BER	0
Segmen tidak terpakai	46.67%
C	367.5
CDR	0%

Parameter Optimal Terhadap Serangan Kompresi MP3 64K

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian pada kelima host audio berbeda dengan menggunakan serangan kompresi MP3 64K. Pengujian dilakukan dengan mengubah parameter nbit dengan nilai 1 sampai 8 untuk masing-masing host sehingga menghasilkan nilai SNR min 20 dB, MOS minimal 4 dan ODG minimal -1.

Tabel 3. Hasil Optimal Terhadap Serangan MP364K

Host	ODG	SNR	Segmen tidak terpakai	C
Host Audio 1	-0.05	21.42	60.51%	181.41
Host Audio 2	-0.02	23.71	75.92%	110.62
Host Audio 3	-0.04	33.20	61.36%	177.48
Host Audio 4	-0.04	22.16	71.61%	130.40
Host Audio 5	-0.03	26.57	53.04%	215.72

Tabel 4. BER dan CDR Terhadap Serangan MP3 64K

Host	BER			CDR		
	tanpa serangan	MP3 64K rata-rata	MP3 64K rata-rata	tanpa serangan	MP3 64K rata-rata	MP3 64K rata-rata
Host	0	0.17	0.08	100	100	100

Host Audio	0	0.30	0.15	100%	100%	100%
Host Audio 1	0	0.30	0.15	100%	100%	100%
Host Audio 2	0	0.16	0.08	100%	100%	100%
Host Audio 3	0	0.20	0.10	100%	100%	100%
Host Audio 4	0	0.20	0.10	100%	100%	100%

Dilihat dari Tabel 3 didapatkan parameter optimal pada kelima host dengan memberikan serangan kompresi MP3 64K dan menggunakan nilai *subband*= 2. Hasil parameter optimal yang didapat yaitu *N*=1, *Nframe*= 16, dan *nbit*=3. Untuk nilai ODG dari pengujian yang dilakukan berada direntang -0.02 hingga -0.05, nilai SNR berada direntang 21.42 hingga 33.20 dan nilai C berada direntang 110.62 hingga 215.72. Untuk nilai MOS masing-masing host audio adalah 4. Pada Tabel 4.8 didapatkan nilai BER rata-rata pada kelima host berada direntang 0.08 hingga 0.15. Selain itu didapatkan juga hasil CDR bernilai 100% untuk semua host yang artinya tingkat akurasi deteksi *watermark* sangat baik.

Ketahanan Audio Terhadap Semua Serangan

Tabel 5. BER dan CDR Terhadap Serangan

Host	BER Rata-Rata	CDR Rata-Rata
Host Audio 1	0.22	68%
Host Audio 2	0.26	63%
Host Audio 3	0.21	70%

Host Audio 4	0.25	71%
Host Audio 5	0.22	71%

Hasil ekstraksi watermark setelah diberi berbagai jenis serangan menghasilkan nilai BER dan CDR yang beragam untuk masing-masing host audio.

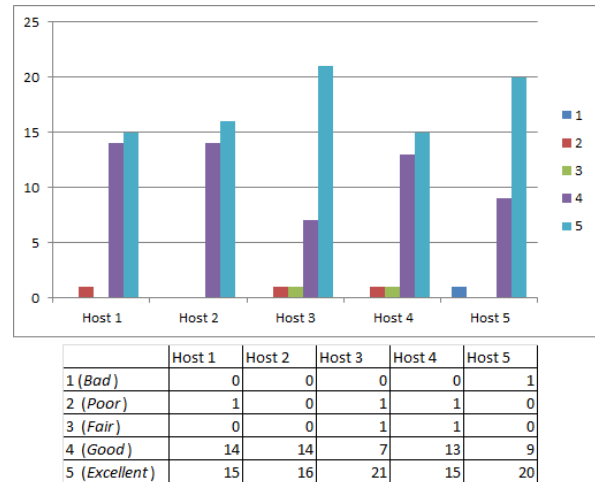
Tabel 6. BER dan CDR hasil Ekstraksi

BER	CDR	Hasil Ekstraksi Watermark
0.01	100%	EVA
0.05	100%	EVA
0.1	100%	EVA
0.15	100%	EVA
0.2	100%	EVA
0.25	100%	EVA
0.3	100%	EVA
0.35	0%	1 J 2
0.4	0%	1 1 J

Performansi Audio Watermarking Dengan Penilaian MOS

Untuk mengukur kualitas audio watermarking maka perlu dilakukan penilaian secara subjektif menggunakan MOS. Pengujian dilakukan dengan ketentuan responden berjumlah 30 orang. Audio yang didengarkan yaitu lima host audio asli dan lima audio terwatermark tanpa serangan, Responden

menilai kualitas audio dengan rentang 1 untuk audio watermarked yang sangat buruk sampai 5 untuk audio watermarked yang mirip dengan host audio asli.



Gambar 5. Mean Opinion Score (MOS)

Pada Gambar 5 hasil penilaian subjektif terhadap lima file audio watermarking memiliki kualitas yang baik dengan nilai MOS ≥ 4 . Nilai MOS tertinggi ada pada host audio 3 dengan nilai MOS 4.60, sedangkan MOS terendah ada pada host audio 4.

Perbandingan Parameter dengan Metode Berbeda

Perbandingan performansi sistem audio watermarking antara metode yang diusulkan dengan metode yang telah dilakukan oleh sebelumnya. Dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan hasil perbandingan antar metode dengan menggunakan referensi [5], [6], [7], [8], [9], dan [10].

Tabel 7. Perbandingan Performansi ODG, SNR, Payload

Ref	ODG	SNR	Payload
[5]	-0.57	32.53	43

[6]	0.03	NA	187.50
[7]	-0.360	15.954	86.13
[9]	NA	24.37	45.90
[10]	-0.27	NA	196
Proposed	-0.04	33.20	215.72

Tabel 8. Perbandingan Performansi BER

Ref	[5]	[6]	[7]	[9]	[10]	Prop (BER)	Prop (CDR)
Resampling 24K	0	1	NA	1	0	1	100%
LSC	NA	NA	NA	NA	NA	2	100%
LPF 9K	0	1.2 1	49. 85	0	0.3 5	10.37	100%
Add Noise	0	NA	NA	NA	NA	2	100%
AWGN 30 dB	NA	17. 17	NA	0	0	14.23	100%
MP3 64K	3	40. 21	NA	0	2.2 1	15.62	100%
MP3 128K	0	33. 25	NA	NA	0.5 6	2	100%
Denoise	0	NA	43	0	0.4 8	34.67	33.33%

SIMPULAN

Kualitas *audio watermarking* setelah dilakukan optimasi dengan menggunakan serangan kompresi MP3 64K didapatkan hasil yang cukup baik yaitu dengan ODG bernilai -0.02, SNR memiliki nilai 33.20 dB dan C bernilai 215.72 bps sedangkan untuk ketahanan sistem *audio* dengan menambahkan berbagai macam serangan mendapatkan hasil BER rata-rata dengan nilai terendah yaitu 22% dan nilai CDR rata-rata tertinggi yaitu 71%. Hasil Uji dan analisis penilaian MOS sangat baik yaitu nilai rata-rata MOS tertinggi 4.60.

DAFTAR PUSTAKA

M. Hemis and B. Boudraa, "Digital watermarking in audio for copyright protection," *Proc. - ICACISIS 2014 Int. Conf. Adv. Comput. Sci. Inf. Syst.*, pp. 189–193, 2014, doi: 10.1109/ICACISIS.2014.7065826.

A. Kanhe and A. Gnanasekaran, "Robust image-in-audio watermarking technique based on

DCT-SVD transform," *Eurasip J. Audio, Speech, Music Process.*, vol. 2018, no. 1, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1186/s13636-018-0139-3.

Z. J. Yang, A. Ye, and Z. H. Xu, "Robust audio watermarking algorithm based on LWT-SVD," *Guangdianzi Jiguang/Journal Optoelectron. Laser*, vol. 29, no. 11, pp. 1221–1227, 2018, doi: 10.16136/j.joel.2018.11.0093.

Z. Fitri, "Audio Digital Watermarking Untuk Melindungi Data Multimedia," *Techsi*, vol. 6, no. 1, pp. 190–208, 2015, [Online]. Available: <http://ejurnal.tif.unimal.ac.id/index.php/ejournal/article/view/86>.

B. Y. Lei, I. Y. Soon, and Z. Li, "Blind and robust audio watermarking scheme based on SVDDCT," *Signal Processing*, vol. 91, no. 8, pp. 1973–1984, 2011, doi: 10.1016/j.sigpro.2011.03.001.

M. J. Hwang, J. Lee, M. Lee, and H. G. Kang, "SVD-Based adaptive QIM watermarking on stereo audio signals," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 20, no. 1, pp. 45–54, 2018, doi: 10.1109/TMM.2017.2721642.

H. T. Hu and J. R. Chang, "Efficient and robust frame-synchronized blind audio watermarking by featuring multilevel DWT and DCT," *Cluster Comput.*, vol. 20, no. 1, pp. 805–816, 2017, doi: 10.1007/s10586-017-0770-2.

A. Al-Haj, A. Mohammad, and L. Bata, "DWT-based audio watermarking," *Int. Arab J. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 326–333, 2011.

V. Bhat K, I. Sengupta, and A. Das, "An adaptive audio watermarking based on the singular value decomposition in the wavelet domain," *Digit. Signal Process. A Rev. J.*, vol. 20, no. 6, pp. 1547–1558, 2010, doi: 10.1016/j.dsp.2010.02.006.

V. Bhat K, I. Sengupta, and A. Das, "A new audio watermarking scheme based on singular value decomposition and quantization," *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 30, no. 5, pp. 915–927, 2011, doi: 10.1007/s00034-010-9255-8.

S. C. Kushwaha, P. Das, and M. Chakraborty, "Multiple watermarking on digital audio

- based on DWT technique," *2015 Int. Conf. Commun. Signal Process. ICCSP 2015*, pp. 303–307, 2015, doi: 10.1109/ICCSP.2015.7322893.
- N. V. Lalitha, P. V. Prasad, and S. U. M. Rao, "Performance analysis of DCT and DWT audio watermarking based on SVD," *Proc. IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2016*, 2016, doi: 10.1109/ICCPCT.2016.7530129.
- D. Ambika and V. Radha, "Speech Watermarking Using Discrete Wavelet Transform , Discrete Cosine Transform and," vol. 5, no. 11, pp. 1089–1093, 2014.
- T. Dhar, P. K., & Shimamura, *Advances in Audio Watermarking Based on Singular Value Decomposition*.
- Q. Li and I. J. Cox, "Using perceptual models to improve fidelity and provide invariance to valumetric scaling for quantization index modulation watermarking," *ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.*, vol. II, pp. 1–4, 2005, doi: 10.1109/ICASSP.2005.1415326.
- M. Patil and J. S. Chitode, "Improved Technique for Audio Watermarking Based on Discrete Wavelet Transform," no. 5, pp. 511–516