

RESEARCH ARTICLE

Peningkatan Ketahanan *Watermarking* Audio Berbasiskan Dct-Svd Dan Teknik Penyisipan Smm Pada Segmen Dan Subband Audio Stasioner

Dela Paradila, Gelar Budiman* and Ledy Novamizanti

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

* Corresponding author: gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id

Received on 05 September 2023; accepted on 12 October 2023

Abstrak

Salah satu upaya untuk mencegah pelanggaran-pelanggaran pada konten digital yang tersedia di internet, *audio watermarking* menjadi solusi yang dihadirkan untuk membantu mengidentifikasi kepemilikan atau distributor data digital sebagai tujuan perlindungan hak cipta. Pada penelitian Tugas Akhir ini, akan dirancang suatu sistem untuk meningkatkan ketahanan *audio watermarking* dengan berbasiskan *Discrete Cosine Transform* (DCT). Penyisipan dilakukan pada matriks orthogonal *Singular Value Decomposition* (SVD), dengan teknik penyisipan *Statistical Mean Manipulation* (SMM) pada segmen dan subband *audio stationer*. Hasil yang didapat dari perancangan ini adalah ketahanan sistem *audio watermarking* terhadap serangan. Dengan menghasilkan nilai keluaran rata-rata: BER terkecil = 0, ODG = -0,71, SNR = 17,2355 dB, rata-rata nilai MOS tertinggi = 4,3 dan *payload* sebesar 86,1328 bps.

Key words: *Audio Watermarking*, *Discrete Cosine Transform* (DCT), *Singular Value Decomposition* (SVD), *Statistical Mean Manipulation* (SMM).

Pendahuluan

Setiap tahunnya teknologi mengalami kemajuan, dan itu diterapkan kedalam kehidupan sehari hari oleh hampir setiap orang. Dengan adanya teknologi yang tersedia, manusia memiliki kapabilitas untuk mencari kelimpahan data di ujung jari mereka. Data yang dapat dengan mudah diakses melalui perangkat elektronik berbasiskan digital tersebut menyajikan beraneka ragam karya, yang kemudian data tersebut kita kenal sebagai konten digital. Selain memiliki beragam keuntungan, konten digital menghadirkan tantangan terhadap kekuatan hak cipta dan kekayaan intelektual. Berdasarkan sumber 1, musik menjadi industri urutan ke-tiga dengan konten yang paling banyak dibajak dengan nilai 10,8 miliar kunjungan total. Salah satu upaya untuk mencegah pelanggaran-pelanggaran tersebut, *digital watermarking* menjadi solusi yang dihadirkan untuk membantu mengidentifikasi kepemilikan atau distributor data digital sebagai tujuan perlindungan hak cipta.

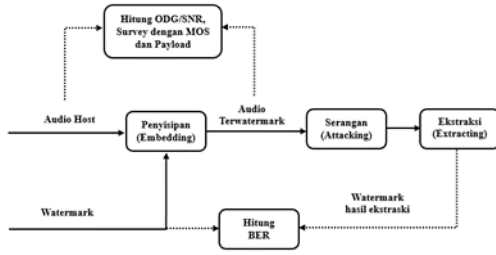
Digital watermarking adalah teknik penyisipan suatu jenis data khusus (*watermark*) ke dalam sinyal *host* (misalnya, gambar, video, audio, dll.). Agar berfungsi sebagai teknik untuk perlindungan hak kepemilikan yang efektif, sistem *watermarking audio* harus memenuhi beberapa kriteria; *imperceptibility*, *robustness*, *security* dan data *payload* [2]. Proses ini harus dilakukan sedemikian rupa sehingga *watermark* yang disisipkan tidak dapat dihilangkan oleh beberapa serangan. Pada penelitian Tugas Akhir ini, akan dirancang suatu sistem untuk meningkatkan ketahanan *audio watermarking* dengan berbasiskan *Discrete Cosine*

Transform (DCT) - *Singular Value Decomposition* (SVD) dengan teknik penyisipan *Statistical Mean Manipulation* (SMM) pada segmen dan subband *audio stationer*. DCT digunakan untuk mengkonversi data ke domain frekuensi dan juga untuk mengkompresi data, yang berarti dapat mengurangi nilai BER yang dihasilkan. Koefisien DCT yang dihasilkan kemudian ditempatkan ke dalam matriks simetris, yang diproses oleh SVD untuk mendapatkan matriks U, S dan V, yang juga mereduksi nilai BER yang dihasilkan 3. Proses penyisipan dengan teknik SMM merupakan proses penyisipan dengan memodifikasi rata-rata sinyal audio dalam sebuah *frame* sesuai dengan *watermark*, sehingga memodifikasi audio pada subband frekuensi rendah 4. Kombinasi beberapa metode yang terintegrasi tersebut diharapkan dapat menghasilkan watermark dengan kriteria baik.

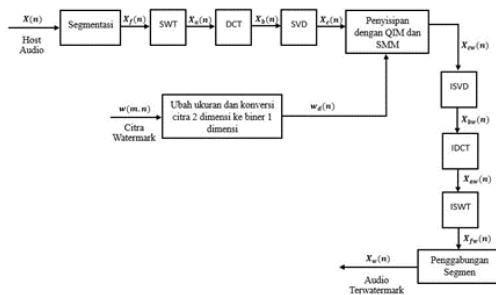
Tinjauan Pustaka

Audio Watermarking

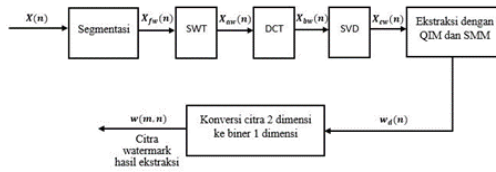
Audio watermarking memiliki permulaan sebagai sub-bidang pemrosesan sinyal digital yang pengembangan algoritmanya memanfaatkan persepsi dari sistem pendengaran manusia atau *human auditory system* (HAS). *Audio watermarking* merupakan sebuah proses penyisipan data informasi yang unik (*watermark*) ke dalam sinyal *host* (audio, video atau gambar) yang dilakukan sedemikian sehingga tidak mempengaruhi kualitas perseptual dari sinyal *host audio*. Di sisi lain,



Gambar 1. Siklus Audio Watermarking



Gambar 2. Proses ekstraksi pada SWT, DCT dan SVD dengan metode QIM dan SMM.



Gambar 3. Proses ekstraksi pada SWT, DCT dan SVD dengan metode QIM dan SMM



Gambar 4. Citra Watermark

steganografi audio memiliki perbedaan filosofis mendasar dengan watermarking audio yaitu steganografi bersifat merahasiakan keberadaan pesannya, sementara pada watermarking keberadaan pesan yang disematkan tidak harus dirahasiakan.

Discrete Cosine Transform (DCT)

Salah satu metode konversi audio yang paling populer adalah DCT, yang mengubah data dari domain waktu ke domain frekuensi. DCT menyatakan bahwa sampel sinyal audio sebagai jumlah fungsi cosinus yang beresilasi pada frekuensi yang berbeda. Secara matematis, DCT dapat ditulis sebagai:

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

Table 1. File Audio Host

Nama	File Audio
Host audio 1	voice.wav
Host audio 2	africa-toto.wav
Host audio 3	beautiful.life-ace_of_base.wav

Dimana $k = 0, 1, \dots, N - 1$, $x(n)$ adalah sinyal audio dengan sampel panjang N dalam domain waktu dan

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

ubah kembali nilai sampel dari domain frekuensi ke nilai domain waktu dengan menggunakan Inversed *Discrete Cosine Transform* (IDCT) seperti pada persamaan dibawah ini:

$$X_w(n) = \sum_{k=1}^N c(k)x(k) \cos\left(\frac{\pi(2n-1)(k-1)}{2N}\right)$$

Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) adalah faktorisasi matriks yang digunakan untuk menguraikan matriks menjadi beberapa komponen matriks. Pada sebagian besar metode berbasis SVD, watermark disipikan dengan mengontrol nilai singular menurut bit watermark. SVD bekerja pada suatu susunan matriks, jadi sebelum menerapkan SVD ke audio, trek audio diubah menjadi matriks 2 dimensi. SVD pada matriks $M \times N$ diuraikan sebagaimana persamaan dibawah ini [5]:

$$SVD(A) = USV^T$$

Operasi SVD membagi matriks menjadi tiga matriks ortogonal U , V , dan S . Matriks S adalah matriks diagonal ($R \times R$) yang semua entri di luar diagonalnya adalah nol. Elemen diagonal dari hasil selalu menurun secara berurutan. Entri bukan nol yang sesuai dengan matriks S disebut nilai singular.

Statistical Mean Manipulation (SMM)

SMM adalah sebuah teknik penyisipan yang cara kerjanya mengubah nilai rata-rata (*mean*) *host audio* di dalam sebuah *frame* sesuai dengan *bit watermark*. Rata-rata *frame* audio dibuat menjadi +alfa ketika *bit watermark* bernilai 1, dan dibuat menjadi -alfa ketika *bit watermark* bernilai 0. Parameter α_m mengatur kekokohan watermark yang berpengaruh pada kualitas audio yang diberi watermark dan kekokohan teknik terhadap serangan. Teknik ini kuat terhadap banyak serangan pemrosesan sinyal. Dinotasikan x_i yang merupakan vektor berisi segmen ke- i sebagai berikut:

$$\mu_x = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L x(n)$$

dimana L merupakan panjang vektor x_i dan x_n merupakan host audio sinyal pada sampel ke- n , persamaan proses penyisipan adalah sebagai berikut berikut:

$$x_{w_i} = \begin{cases} x_i - \mu_{x_i} + \alpha_m, & \text{if } w_i = 1 \\ x_i - \mu_{x_i} - \alpha_m, & \text{if } w_i = 0 \end{cases}$$

dimana w_i merupakan bit watermark yang dimasukkan ke segmen ke- i dari *audio host*. Persamaan proses ekstraksi dari teknik SMM direpresentasikan sebagai berikut:

Table 2. Analisis Pengaruh Parameter Nbit (Jumlah Bit Kuantisasi)

N	N Frame	Nbit	ODG	SNR	BER	C
3	256	1	-2, 3434	7,2006	0,001953	147,9866
3	256	2	-1, 7337	10,6161	0,003906	164,3989
3	256	3	-1, 176	13,0498	0,00293	171,2621
3	256	4	-0, 71492	14,6278	0	172,2625
3	256	5	-0, 44362	15,2168	0	171,5953
3	256	6	-0, 30983	15,6002	0,000977	171,2621
3	256	7	-0, 24208	15,7795	0,001953	172,2656
3	256	8	-0, 229	15,8511	0,00293	171,5953
3	256	9	-0, 22593	15,9055	0,000977	171,7624
3	256	10	-0, 22726	15,9637	0,001953	171,4286

$$w_i = \begin{cases} 1, & \text{if } \mu_{x_{w_i}} \geq 0 \\ 0, & \text{if } \mu_{x_{w_i}} < 0 \end{cases}$$

dimana $\mu_{x_{w_i}}$ merupakan rata-rata vektor audio x_{w_i} yang terwatermark dengan panjang elemennya adalah L.

Metodologi Penelitian

Desain Model

Bagian ini menjelaskan tentang model sistem dan perancangan suatu teknik watermarking audio berbasis DCT-SVD dengan teknik penyisipan SMM, dimulai dari proses embedding untuk menyisipkan file citra biner sebagai *watermark* ke dalam *host audio*, proses *attacking* untuk menguji ketahanan sistem, sampai dengan proses *extracting* untuk mendapatkan kembali *watermark* yang telah diberi serangan. Secara umum, model perancangan pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut: 1

Proses Embedding

Proses *embedding* atau proses penyisipan yang dilakukan dengan menerapkan metode DCT-SVD pada *host audio*. Selanjutnya, menggunakan teknik penyisipan SMM pada *watermark* berupa citra untuk menyisipkannya ke dalam *host audio*. Kemudian masing-masing metode dilakukan invers untuk mendapatkan hasil *watermarked audio*. Skema penyisipan dapat dilihat pada Gambar 3.

Proses Extraction

Proses ekstraksi yang dilakukan pada *audio watermarking* dengan teknik DCT-SVD dan SMM seperti terlihat pada diagram blok penyisipan Gambar 3.

Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan membahas hasil pengujian dan analisis dari metode *audio watermarking* yang diterapkan. Tujuan dari pengujian dan analisis yaitu untuk mengetahui performansi dari metode yang diimplementasikan berdasarkan parameter-parameter yang digunakan, serta mengetahui kualitas dari ketahanan audio terhadap beberapa jenis serangan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. *Host audio* pada pengujian berjumlah lima file dengan format *.wav yang memiliki frekuensi *sampling* sebesar 44100 Hz. File audio yang digunakan pada pengujian sebagai berikut: 1

Watermark yang disisipkan berupa teks dengan huruf 'DP' yang secara otomatis akan menggenerate menjadi citra seperti pada Gambar 4.

Analisis Parameter Audio Watermarking Tanpa Serangan

Pada bagian ini menjelaskan performansi *audio watermarking* dengan melakukan perubahan parameter tanpa serangan hingga mendapatkan parameter optimal yang menghasilkan SNR, ODG, BER dan C terbaik. Parameter tersebut meliputi jumlah kuantisasi bit (nbit), alfa SMM (α_C), jumlah sampel per *frame* (*Nframe*), level dekomposisi (N).

Analisis Pengaruh Parameter Nbit (Jumlah Bit Kuantisasi)

Parameter nbit merupakan nilai bit kuantisasi yang digunakan untuk proses dekomposisi audio menggunakan teknik QIM. Pada analisis ini menggunakan parameter nbit bernilai 1 sampai 10. Hasil pengaruh parameter nbit terhadap ODG, SNR, BER dan C dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 di atas terlihat bahwa parameter nbit memiliki pengaruh terhadap nilai SNR. Perubahan nilai nbit yang semakin besar membuat nilai SNR juga semakin besar. Hal ini dikarenakan jumlah bit yang di kuantisasi akan semakin banyak jika nilai nbit semakin besar, sehingga audio yang telah disisipi akan semakin mirip dengan audio aslinya.

Dari hasil tersebut dipilih nbit bernilai 4 sebagai parameter nbit terbaik karena memiliki nilai BER = 0. Tabel 2 Analisis Pengaruh Parameter nbit (jumlah bit kuantisasi). Berdasarkan Tabel 2 di atas terlihat bahwa parameter nbit memiliki pengaruh terhadap nilai SNR. Perubahan nilai nbit yang semakin besar membuat nilai SNR juga semakin besar. Hal ini dikarenakan jumlah bit yang di kuantisasi akan semakin banyak jika nilai nbit semakin besar, sehingga audio yang telah disisipi akan semakin mirip dengan audio aslinya. Dari hasil tersebut dipilih nbit bernilai 4 sebagai parameter nbit terbaik karena memiliki nilai BER = 0.

Analisis Pengaruh Parameter Alfac

α_C (alfac) merupakan nilai alfa yang digunakan sebagai parameter pengali pada teknik SMM. Nilai α_C yang digunakan adalah 0.0001, 0.0003, 0.0005, 0.002, 0.004, 0.006, 0.01, 0.02, 0.03 dan 0.04. Berikut adalah hasil pengaruh parameter α_C terhadap ODG, SNR, BER dan C: 3. Berdasarkan hasil pada Gambar 3, terlihat bahwa nilai α_C mempengaruhi nilai ODG dan SNR. Semakin besar nilai α_C , maka nilai ODG dan SNR akan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan nilai α_C akan mempengaruhi nilai *watermark* yang disisipkan, sehingga semakin besar nilai α_C nilai *watermark* yang disisipkan akan semakin besar

Table 3. Analisis Pengaruh Parameter *Alfac*

N	N Frame	alfac	ODG	SNR	BER	BER SMM	C
3	256	0,0001	-0,71414	14,6598	0	0,47949	170,1061
3	256	0,0003	-0,71629	14,6613	0	0,44824	170,1061
3	256	0,0005	-0,71702	14,665	0	0,41992	170,2703
3	256	0,002	-0,71941	14,6533	0	0,2793	170,4348
3	256	0,004	-0,72791	14,6402	0	0,16016	170,9302
3	256	0,006	-0,73393	14,6105	0	0,082031	171,2621
3	256	0,01	-0,71492	14,6278	0	0,012695	172,2656
3	256	0,02	-0,71385	14,6289	0	0,0019531	172,2656
3	256	0,03	-0,71483	14,5991	0	0,0019531	172,2656
3	256	0,04	-0,71534	14,5827	0	0	172,2656

Table 4. Analisis Pengaruh Parameter *Nframe*

N	N Frame	Nbit	alfac	ODG	SNR	BER	C
3	64	4	0,04	error	error	error	error
3	128	4	0,04	-0,86059	9,6055	0	344,5313
3	256	4	0,04	-0,71534	14,5827	0	172,2656
3	512	4	0,04	-0,70885	18,842	0	86,1328

dan mempengaruhi perbedaan kualitas audio sebelum dan setelah disisipkan. Pada pemilihan nilai α_C ini, dipilih nilai yang memiliki SNR paling mendekati 20 dan BER 0, yaitu α_C yang bernilai 0.04.

Analisis Pengaruh Parameter *Nframe*

Nframe berpengaruh terhadap ukuran *frame* yang akan dibuat dan banyaknya *frame* yang akan dihasilkan. Pengujian yang dilakukan menggunakan parameter tetap yang didapat dari pengujian sebelumnya dengan nilai *Nframe* 16, 32, 64, 128, 256 dan 512. Berikut hasil pengaruh parameter *Nframe* terhadap nilai ODG, SNR, BER dan C 4.

Berdasarkan Tabel 4 diatas, perubahan nilai *Nframe* akan mempengaruhi nilai SNR, ODG, dan C. Nilai SNR dan ODG akan semakin meningkat ketika nilai *Nframe* semakin besar, sebaliknya nilai C akan menurun ketika *Nframe* meningkat. Hal tersebut dikarenakan semakin besar *Nframe* maka jumlah *watermark* yang disisipkan akan semakin sedikit, sehingga kemungkinan terjadi *watermark* rusak juga sedikit. Oleh karena itu, *Nframe* yang dipilih yaitu 512, karena *Nframe* tersebut memiliki nilai SNR paling mendekati 20 dan nilai BER = 0.

Analisis Pengaruh Parameter N

N merupakan jumlah dekomposisi yang dilakukan pada proses SWT. Pengujian yang dilakukan menggunakan 3 level dekomposisi dengan nilai 1 hingga 10. Nilai N berpengaruh terhadap pembagian frekuensi yang dilakukan. Semakin besar nilai N maka pembagian frekuensi semakin banyak. Berikut 5 hasil pengaruh parameter N terhadap nilai ODG, SNR, BER dan C. Perubahan nilai N mempengaruhi nilai SNR, ODG, dan C. Semakin besar nilai suatu level dekomposisi, maka nilai SNR dan ODG yang dihasilkan juga semakin besar. Akan tetapi, hal tersebut berbanding terbalik dengan perubahan nilai C, karena semakin besar level dekomposisi maka nilai C akan semakin menurun. Perubahan nilai N tidak mempengaruhi nilai BER, karena nilai BER cenderung konstan pada nilai = 0. Hal tersebut terjadi, karena semakin besar nilai level dekomposisi, maka semakin banyak subband yang dihasilkan, sehingga audio yang diolah akan lebih detail. Berdasarkan Gambar 5, maka dipilih N = 3, karena saat N bernilai 3, nilai ODG mencapai

Table 5. Analisis Pengaruh Parameter N

N	N Frame	ODG	SNR	BER	C
1	512	-0,73048	18,2169	0	86,1328
2	512	-0,7296	18,636	0	86
3	512	-0,70885	18,842	0	86,1328
4	512	-0,67694	18,9697	0	86,1328
5	512	-0,63939	19,0141	0	86,1328
6	512	-0,59903	19,0789	0	86,1328
7	512	-0,55293	19,109	0	86,1328
8	512	-0,52538	19,1323	0	86,1328
9	512	-0,5123	19,1359	0	86,1328
10	512	-0,50369	19,168	0,000977	85,9649

target yang telah ditentukan yaitu = -0,7 nilai SNR mendekati 20 dB dan BER = 0.

Analisis Ketahanan *Audio Watermarking* Terhadap Serangan

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*, *africa-toto.wav*, dan *beautiful.life-ace.of.base.wav*. Hasil yang diambil pada pengujian ini adalah nilai BER paling bagus dengan SNR lebih dari atau mendekati 20 dB atau ODG lebih dari -1.

Table 6. Parameter Optimal Terhadap Serangan MP3 64k

Host	N	Nframe	nbit	ODG	SNR	MOS	C
voice.wav	7	512	3	-0,71	4,0926	4	86,1328
africa-toto.wav	7	512	3	-0,74905	17,2355	4	73,8281
beautiful.life-ace_of_base.wav	7	512	3	-0,73444	-0,47753	4	86,1328

Table 7. Parameter BER Optimal Terhadap Serangan MP3 64k

Host	Tanpa Serangan			MP3 64k			BER
	BER	BER	BER	BER	BER	BER	SMM rata
voice.wav	0	0	0	0	0	0	0
africa-toto.wav	0	0	0	0	0	0	0
beautiful.life-ace_of_base.wav	0	0	0	0	0	0	0

Table 8. BER rata-rata terhadap beberapa jenis serangan

Host	BER rata-rata
voice.wav	0
africa-toto.wav	0,1029
beautiful.life-ace_of_base.wav	0,0016

Table 9. Hasil Pengujian MOS

Host Audio	Rata-rata MOS
voice.wav	4,0333
africa-toto.wav	4,0667
beautiful.life-ace_of_base.wav	4,3333

Pemilihan Parameter Optimal MP3 64k

Pengujian dilakukan dengan mengubah parameter a_c untuk masing-masing *host* sehingga menghasilkan nilai SNR min 20 dB, MOS minimal 4 dan ODG minimal -1. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk menentukan parameter optima dengan memberikan serangan berupa kompresi MP3 64k.

Dilihat dari Tabel 6 didapatkan parameter optimal pada ketiga *host* dengan memberikan serangan kompresi MP3 64k dengan hasil parameter optimal yang didapat yaitu $N = 7$, $Nframe = 512$, dan $nbit=3$. Untuk nilai ODG dari pengujian yang dilakukan berada direntang $-0,74905$ hingga $-0,71$, nilai SNR berada direntang $-0,47753$ hingga $17,2355$ dan nilai C berada direntang $73,8281$ hingga $86,1328$. Pada Tabel 7 didapatkan nilai BER rata-rata pada ketiga *host* bernilai = 0.

Analisis Kualitas Audio Watermarking dengan Parameter Optimal Terhadap Serangan

Pada subbab ini, akan dianalisis ketahanan sistem audio watermarking menggunakan parameter optimal hasil uji serangan kompresi MP3 pada frekuensi 64k yang dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 7. Parameter optimal tersebut akan diuji dengan diberikan beberapa jenis serangan pengolahan sinyal yaitu *resampling*, *filtering*, *compression*, *TSM*, *requantization*, *equalizer*, *LSC*, *echo*, *pitch shifting* dan *add noise white*. Tabel 8 menunjukkan BER rata-rata hasil uji sistem menggunakan parameter optimal.

Nilai BER rata-rata pada pengujian ini menunjukkan bahwa parameter optimal hasil serangan kompresi MP3 pada frekuensi 64k cukup tahan terhadap berbagai macam serangan yang diberikan karena memiliki nilai BER kurang dari sama dengan 10% atau $BER \leq 0,1$. Nilai BER rata-rata untuk *audio host voice.wav* adalah 0, *audio host africatot.wav* adalah 0,1029, *audio host beautiful.life-ace_of_base.wav* adalah 0,0016.

Analisis Performansi Audio Watermarking Menggunakan MOS

Untuk mengukur *imperceptibility* dari sisi pengguna, maka diperlukan adanya pengukuran secara subjektif. MOS digunakan untuk menilai kualitas audio setelah disisipkan informasi kedalam audio. Percobaan dilakukan dengan responden berjumlah 30 orang. Terhadap tiga jenis audio *terwatermark* tanpa serangan dan tiga jenis audio asli. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut: 9

Hasil pengujian MOS menunjukkan hasil yang cukup baik dengan nilai tertinggi yang dimiliki = 4,3 dan hasil terburuk memiliki rata-rata MOS = 4,03. yang cukup tinggi (3,7999 secara keseluruhan) dibandingkan dengan hasil BER nya yang buruk. Hasil pengujian MOS memberikan hasil yang bervariasi, dikarenakan penilaian dari penginderaan setiap orang berbeda-beda.

Perbandingan Hasil dengan Penelitian Terkait

Pada bagian ini akan dilakukan perbandingan parameter *audio watermarking* dari metode yang diusulkan dengan hasil penelitian sebelumnya. Tujuan dilakukannya pengujian ini yaitu untuk membandingkan parameter ODG, SNR, dan BER antara metode yang diusulkan dengan metode penelitian sebelumnya. Dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan hasil perbandingan antar metode dengan menggunakan referensi 3, [6], [7], [8] dan [9] pada penelitian sebelumnya.

Kesimpulan

Penelitian ini merancang sistem audio watermarking berbasis DCT-SVD dengan teknik SMM. Setelah melakukan proses optimasi, didapatkan nilai output rata-rata: ODG = $-0,71$ dan SNR = $17,2355$. Nilai parameter optimal yaitu level dekomposisi $N = 7$, panjang $Nframe = 512$, $nbit = 3$ dan $dither = 1$. Sistem audio watermarking yang diberikan berbagai jenis serangan dapat menghasilkan nilai BER rata-rata $\leq 0,1$ dengan nilai BER terkecil = 0. Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, terjadi peningkatan nilai pengukuran BER

Table 10. Perbandingan performansi ODG, SNR, dan *Payload*

Ref	ODG	SNR	Payload
[3]	$\geq -0,15$	≥ 30 dB	N/A
[6]	-0,155707	> 21 dB	525bit/s
[7]	-0,6	31,290	5,38bit/s
[8]	3,436	29,51658	5,3665
[9]	N/A	32,72	21,43
Proposed	-0,71	17,2355	86,1328

terhadap jenis serangan tertentu. Kualitas *audio host* yang dievaluasi secara subjektif oleh 30 responden melalui pengujian MOS, menghasilkan MOS tertinggi dengan nilai 4,3 yang menunjukkan bahwa *audio terwatermark* memiliki kualitas audio yang baik.

Daftar Pustaka

1. Wareza M. Begini Tren Pembajakan Online di 2021, Ngeri?; 2022. Available from: <https://www.cnbcindonesia.com/tech/20220201083508-37-311999/begini-tren-pembajakan-online-di-2021-ngeris>.
2. Xiang Y, Hua G, Yan B. Digital Audio Watermarking: Fundamentals, Techniques and Challenges; 2017.
3. Aminullah R, Budiman G, Safitri I. Implementation of Qim Based Audio Watermarking Using Hybrid Transform of Swt-Dct-Svd Methods Optimized With Genetic Alorithm. TEKTRIKA - J Penelit dan Pengemb Telekomun Kendali, Komputer, Elektr dan Elektron. 2018;2(1).
4. Budiman G, Suksmono AB, Danuirdjo D. Wavelet-Based Hybrid Audio Watermarking Using Statistical Mean Manipulation and Spread Spectrum. In: 2020 27th International Conference on Telecommunications (ICT); 2020. p. 1-5.
5. Patel KN. Robust and Secured Digital Audio Watermarking Using a DWT-SVD-DSSS Hybrid Approach. Springer; 2020.
6. Budiman G, Novamizanti L, Alief RN, Anshori MRR, Allwinnaldo. QIM-based Audio Watermarking using Polar-based Singular Value in DCT Domain. In: 2019 4th Int. Conf. Inf. Technol. Inf. Syst. Electr. Eng. (ICITISEE); 2019. p. 216-21.
7. Novamizanti L, Budiman G, Wibowo BA. Optimasi Sistem Penyembunyian Data pada Audio menggunakan Sub-band Stasioner dan Manipulasi Rata-rata Statistik. ELKOMIKA J Tek Energi Elektr Tek Telekomun Tek Elektron. 2018;6(2):165.
8. Adhanadi F, Novamizanti L, Budiman G. DWT-SMM-based audio steganography with RSA encryption and compressive sampling. TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control). 2020;18(2):1095-104.
9. Budiman G, Suksmono AB, Danuirdjo D, Pawellang S. QIM-based audio watermarking with combined techniques of SWT-DST-QR-CPT using SS-based synchronization. In: 2018 6th Int. Conf. Inf. Commun. Technol. IColCT 2018; 2018. p. 286-92.
10. Harahap H, Budiman G, Novamizanti L. Implementasi Teknik Watermarking menggunakan FFT dan Spread Spectrum Watermark pada Data Audio Digital. ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi & Elektronika.
11. Novamizanti L, Budiman G, Astuti ENF. Robust audio watermarking based on transform domain and SVD with compressive sampling framework. TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control. 2020;18(2):1079-88.
12. Budiman G, Novamizanti L. White Space Steganography On Text By Using LZW-Huffman Double Compression. International Journal of Computer Networks & Communications. 2015;7(2):136A.

