IMPLEMENTASI DAN ANALISIS BLIND AUDIO WATERMARKING MENGGUNAKAN SVD (SINGULAR VALUE DECOMPOSITION)

IMPLEMENTATION AND ANALYSIS OF BLIND AUDIO WATERMARKING USING SVD (SINGULAR VALUE DECOMPOSITION)

Ifan Fadlina Anhar[1], Gelar Budiman, S.T., M.T.[2], Irma Safitri, S.T., M.I.T.[3]
[1,2,3] Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]ifanfadlina@students.telkomuniversity.ac.id, [2]gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id,
[3]irmasaf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perkembangan jaringan internet dan teknologi multimedia yang tidak dapat dihindari mengakibatkan persebaran informasi dan data menjadi lebih mudah. Setiap pengguna jaringan dapat dengan bebas mengirim, menerima, ataupun menyalin data (citra, video, dan audio) digital. Hal ini menimbulkan masalah tentang pelanggaran atas hak cipta (copyright) seperti pembajakan pada konten musik atau audio digital. Sehingga perlu adanya teknik perlindungan hak cipta terhadap data digital yang asli, salah satu tekniknya adalah dengan menyisipkan informasi watermark berupa identitas kepemilikan ke dalam data digital yang disebut teknik digital watermarking.

Dalam digital watermarking, bila informasi watermark disisipkan ke dalam audio digital maka dapat disebut dengan audio watermarking. Informasi watermark yang digunakan pada penelitian ini berupa citra digital hitam putih, serta audio digital berformat (*.wav). Sistem yang dibangun yaitu sistem blind audio watermarking, dimana pada proses ekstraksinya tidak memerlukan informasi watermark maupun file audio digital yang asli.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan implementasi dan analisis sistem blind audio watermarking menggunakan SVD (Singular Value Decomposition), dimana teknik penyisipan bit watermark menggunakan teknik QIM (Quantization Index Modulation). Dari hasil pengujian, didapatkan rata-rata SNR (Signal to Noise Ratio) > 20 dB pada saat variabel $\Delta \leq 1/8$, dan saat $\Delta \leq 1/16$ sistem mampu mencapai 0% pada nilai BER (Bit Error Rate) untuk setiap jenis audio digital yang diujikan. Untuk ketahanan terhadap serangan, sistem yang dibangun tidak tahan terhadap serangan MP3 Compression dan MP4 Compression karena nilai BER tidak dapat mencapai 0%, namun masih tahan terhadap serangan linier speed change, noise addition, dan LPF (Low Pass Filter).

Kata kunci: blind audio watermarking, singular value decomposition, QIM, SNR, BER.

Abstract

D evelopment of internet network and multimedia technologies are unavoidable result in the spread of information and data becomes easier. Each network user can freely send, receive, or copy data (images, video, and audio) digital. This raises the question of infringement of copyright (copyright) as piracy on the music content or digital audio. Thus the need for copyright protection techniques against the original digital data, one technique is to insert a watermark in the form of identity ownership information into digital data is called digital watermarking technique.

In digital watermarking, when watermark information is embedded into the digital audio, it can be called audio watermarking. Watermark information used in this study is black and white digital images, and digital audio format (* .wav). The system built is blind audio watermarking system, where on extraction process does not require the watermark information and the original digital audio file.

In this final project implementation and analysis conducted on blind audio watermarking system using SVD (Singular Value Decomposition), where technique of embedded watermark bit using QIM (Quantization Index Modulation). From the test results, obtained on average SNR (Signal to Noise Ratio) > 20 dB when variable $\Delta \leq 1/8$, and when the variable $\Delta \leq 1/16$ system able to achieve 0% on the value of BER (Bit Error Rate) for every kind of digital audio that were tested. For resistance to an attack, the system made no resistance to attack MP3 Compression and MP4 Compression because BER value can not be reached 0%, but is still resistant to the linear speed change, noise addition and LPF(Low Pass Filter).

Keyword : blind audio watermarking, singular value decomposition, QIM, SNR, BER.

1. Pendahuluan

Perkembangan jaringan internet dan teknologi multimedia yang tidak dapat dihindari mengakibatkan persebaran informasi dalam format data digital menjadi lebih mudah. Setiap pengguna jaringan dapat dengan bebas mengirim, menerima, ataupun menyalin data (citra, video, dan audio) digital. Pertukaran data secara bebas ini menimbulkan masalah tentang pelanggaran atas hak cipta. Sehingga perlu adanya cara untuk menghindari pertukaran data secara bebas dengan memperhatikan aspek hak cipta dari pembuat data digital yang asli. Salah satu teknik yang dapat ditempuh untuk perlindungan hak cipta pada data digital adalah digital watermarking.

Digital watermarking merupakan teknik penyisipan sebuah data watermark ke dalam data host digital sedemikian sehingga hasil penyisipan tersebut tidak dapat dideteksi oleh indera manusia. Digital watermarking memanfaatkan kelemahan pada HAS (Human Auditory System) dan HVS (Human Visual System). Proses penyisipan data watermark ke dalam data host yang berupa audio digital disebut audio watermarking. Dalam audio watermarking, proses penyisipan dilakukan tanpa mengganggu kualitas dari file audio digital tersebut. Penyisipan data watermark baik berupa teks maupun citra ke dalam audio digital tanpa mempengaruhi kualitasnya dapat digunakan sebagai hak cipta atau bukti kepemilikan dari file audio digital tersebut.

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan implementasi dan analisis blind audio watermarking menggunakan SVD. Metode SVD dipilih karena operasionalnya yang mudah dan efektif untuk perlindungan hak cipta pada data audio digital [3]. Dalam penelitian sebelumnya [7], data host dan data watermark yang digunakan sama-sama berupa citra. Sedangkan pada Tugas Akhir ini, data host yang digunakan berupa audio digital dan data watermark berupa citra hitam putih, dengan ukuran 32 x 32 piksel. Teknik penyisipannya menggunakan QIM. Selanjutnya dilakukan pengukuran kualitas file audio yang telah melalui sistem watermarking dengan parameter SNR, ODG (Objective Difference Grade), dan MOS (Mean Opinion Score). Untuk kualitas data watermark hasil ekstraksi diukur dengan parameter BER. Dilakukan juga pengujian ketahanan terhadap sistem dengan memberikan beberapa serangan (attack) pada data host terwatermark.

2. Dasar Teori

2.1. Watermarking

Watermarking adalah salah satu cabang ilmu yang mempelajari teknik penyembunyian informasi. Terkadang teknik watermarking disebut juga sebagai sinonim dari Steganography karena sama – sama mempelajari tentang teknik penyembunyian data. Namun, terdapat perbedaan yang sangat jauh antara watermarking dan steganography. Steganography menyisipkan informasi yang tampak, namun susah (diharapkan tidak mungkin) dideteksi jika tempat penyembunyian datanya tidak diketahui. Watermarking ini memanfaatkan kekurangan-kekurangan sistem indera manusia seperti mata dan telinga. Dengan adanya kekurangan inilah, metoda watermarking ini dapat diterapkan pada berbagai media digital.

Digital watermarking adalah sebuah teknik dimana sebuah informasi disisipkan kedalam sebuat set host-data (citra, video, audio) dengan cara tertentu sehingga informasi tersebut tidak mengganggu penggunaan host-data secara normal dan tidak dapat dilepaskan dengan cara yang biasa [1]. Sebagai contoh, jika sebuah informasi disisipkan ke dalam audio , maka telinga tidak dapat mendengar informasi tersebut. Hal tersebut merupakan salah satu jenis watermarking, yaitu audio watermarking.

Audio Watermarking adalah proses watermarking yang dilakukan pada sinyal audio. Watermarking pada sinyal audio memiliki tantangan yang lebih dibandingkan dengan watermaking pada citra atau video. Watermarking pada audio memanfaatkan kelemahan pada Human Auditory System (HAS) yang dikenal juga sebagai audio masking. Akan tetapi, HAS memiliki sensitivitas yang lebih dibandingan Human Visual System (HVS). Hal ini disebabkan karena HAS bekerja pada jarak yang cukup luas, sehingga untuk mendapatkan suara yang tidak terdengar jauh lebih sulit dibandingkan dengan gambar yang tidak terlihat[2].

Berdasarkan domain penyisipannya, teknik watermarking pada audio dibagi menjadi dua kelompok, yaitu teknik temporal watermarking dan teknik spectral watermarking. Temporal watermarking adalah melakukan penyisipan pada audio host dalam domain waktu, sedangkan spectral watermarking terlebih dulu melakukan transformasi dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga penyisipannya dilakukan pada elemen frekuensi.

2.2. Singular Value Decomposition (SVD)

SVD adalah pemfaktoran dari matriks segi empat riil atau kompleks, dan pemanfaatannya banyak dilakukan dalam pengolahan sinyal maupun statistika. SVD sendiri berbasiskan teorema aljabar linear yang menyatakan bahwa matrik segiempat A dapat didekomposisi menjadi 3 buah matriks yaitu sebuah matriks orthogonal U, sebuah matriks diagonal S, dan sebuah matriks transpose V yang orthogonal[10]. Misalkan A adalah matriks segiempat berukuran M×N, dekomposisi nilai singular dapat dilihat melalui persamaan berikut [5] :

$$A = USV^T \qquad (2.1)$$

Dimana :

U : Vektor eigen dari AA^T. Matriks U adalah matrik singular kiri yang orthogonal berukuran M × M.

S : Matriks diagonal dari eigen matriks AA^T dan A^TA yang berdimensi M × N, dimana $S = \sqrt{\ }$.

V : Vektor eigen dari A^TA. Matriks V adalah matrik singular kanan yang orthogonal berukuran N × N.

2.3. Quantization Index Modulation (QIM)

Metode watermarking dengan skema QIM diperkenalkan Brian Chen dan Gregory W. Wornell pada tahun 1999. Quantization Index Modulation adalah suatu skema penyisipan watermark dengan tahapan :

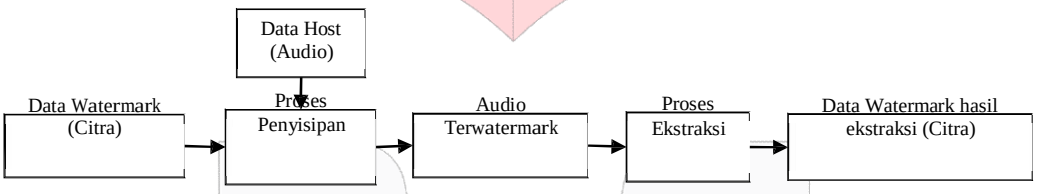
1. Memodulasi watermark dalam suatu indeks atau himpunan indeks. Hasilnya kemudian disebut dengan quantizer. [8]
2. Mengkuantisasi sinyal host pada frekuensi tertentu dengan quantizer yang sesuai, sesuai dengan nilai watermark yang akan disisipkan pada sinyal tersebut. [8]

Misalkan watermark w yang disusun oleh sekumpulan karkater n_i hendak disisipkan kesebuah sinyal y yang disusun oleh c_j, menggunakan metode QIM. Maka sebelumnya harus disediakan quantizer sejumlah n, yang kemudian setiap quantizer akan diindeks sesuai dengan karakter watermark yang ada. Jika n_i hendak disisipkan pada sinyal y diposisi c_j, maka nilai c_j akan dikuantisasi nilainya kenilai yang dirujuk oleh quantizer ke-i.

3. Perancangan Sistem

3.1. Desain Sistem

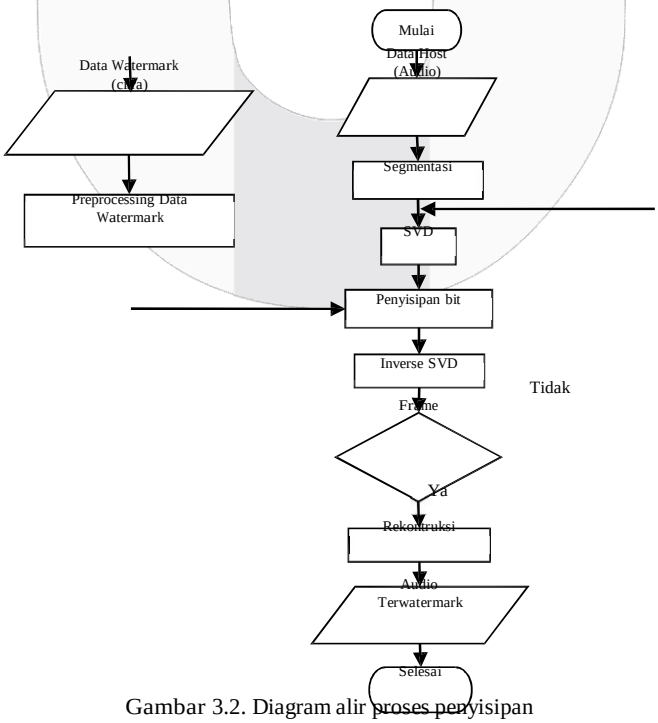
Dalam Tugas Akhir ini dirancang suatu sistem blind audio watermarking menggunakan metode SVD dengan data watermark berupa citra hitam putih. Sistem dari blind audio watermarking ini dibagi menjadi 2 tahap, yaitu tahap penyisipan dan tahap ekstraksi. Tahap penyisipan adalah proses menyisipkan sebuah citra hitam putih ke dalam file audio asli berformat (*.wav), dan menghasilkan file audio terwatermark. Selanjutnya tahap ekstraksi, merupakan proses pengekstraksian data watermark yang telah disisipkan dalam file audio terwatermark. Pada proses ekstraksi ini tidak membutuhkan file audio asli, karena sistem yang dirancang merupakan sistem blind audio watermarking . Gambaran secara umum desain sistem blind audio watermarking yang dirancang dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Desain sistem secara umum

3.2. Proses Penyisipan

Proses penyisipan sebuah citra hitam putih ke dalam file audio asli pada sistem blind audio watermarking dengan menggunakan metode SVD melalui beberapa tahap. Diagram alir dari tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2. Diagram alir proses penyisipan

1. Preprocessing Data Watermark
   Citra hitam putih berformat (*.png) dengan ukuran M x M piksel dikonversikan ke dalam bentuk bit setiap pikselnya. Sehingga diperoleh deretan bit dari data watermark (W_{SE}) dengan panjang I yang siap untuk disisipkan, dimana [illegible] dan M x M = I.

2. Segmentasi
   Audio asli X berformat (*.wav) mono 16 bit dengan panjang L sampel disegmentasi ke dalam nonoverlapping frames F = {F_1, F_2, F_3, . . ., F_I } dimana M x M = I. Frame yang terbentuk diubah ke dalam matriks 2-D, yaitu matriks persegi FH.

3. SVD
   Setiap frame berbentuk matriks persegi FH didekomposisikan untuk mendapatkan matriks singular (S).
   [illegible] (3.1)
   Dipilih elemen S(1,1) sebagai tempat penyisipan bit watermark, dan hal ini berlaku pada setiap frame.

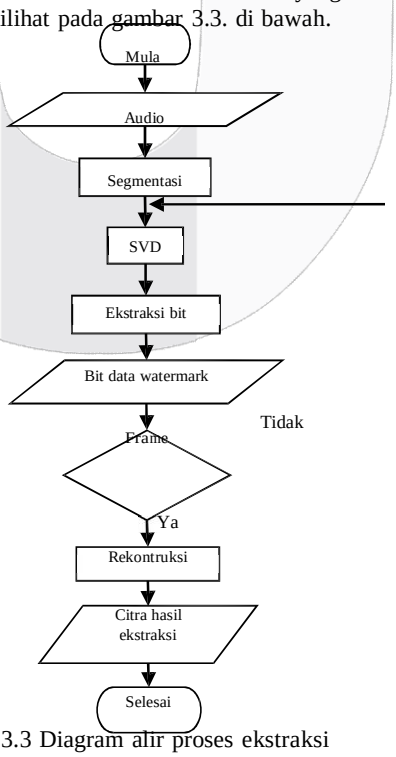
4. Penyisipan
   Proses penyisipan bit dilakukan hanya pada elemen S(1,1). Teknik penyisipan yang digunakan adalah teknik QIM. Pada teknik QIM, parameter yang diubah-ubah untuk mencari hasil penyisipan terbaik yaitu nilai Δ. Proses penyisipan dengan kuantisasi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut [9]:
   [illegible] Δ dan arg min |[illegible]| jika W_{SE} = 1 (3.2)
   [illegible] Δ [illegible] arg min |[illegible]| jika W_{SE} = 0 (3.3)
   dimana k = 0,±1,±2,±3, . . . dst

5. Invers SVD
   Hasil penyisipan bit S'(1,1) dimasukan kembali ke dalam matriks diagonal (S') dan kemudian direkontruksi menjadi matriks FH' yang sudah disisipi dengan menggunakan inverse SVD.

6. Rekontruksi
   Matriks FH' diubah menjadi matriks 1-D F' agar dapat direkontruksi menjadi audio terwatermark.

3.3. Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi bertujuan untuk mendapatkan kembali data watermark yang telah disisipkan pada data host. Diagram alir mengenai proses ekstraksi dapat dilihat pada gambar 3.3. di bawah.



Gambar 3.3 Diagram alir proses ekstraksi

Tahapan dari diagram alir proses ekstraksi pada gambar 3.3 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Segmentasi
   File audio terwatermark berformat (*.wav) X^* dikelompokkan menjadi beberapa frame $\square'$. Setiap frame yang terbentuk kemudian diubah ke dalam matriks 2-D, yaitu matriks persegi FH^*.

2. SVD
   Matriks persegi FH^* tersebut didekomposisi dengan cara SVD untuk mendapatkan matriks singular (S^*).
   $$\square\square' = \square\,\psi\,\square'\,\psi\,\square \qquad (3.4)$$
   Dipilih $S^*(1,1)$ untuk proses ekstraksi karena elemen tersebut digunakan sebagai tempat penyisipan bit.

3. Ekstrasi bit
   Dilakukan proses ekstraksi dengan teknik QIM pada elemen S*(1,1). Nilai dari Δ harus sama seperti pada proses penyisipan. Cara pengekstrasian bit dari nilai S*(1,1) secara matematis sebagai berikut [9]:
   $$\square'\square = \begin{cases} 0, & \square\square\square\ \square\square\square\square\ \square \quad \dfrac{\square^*\ \square 1,1\square}{\Delta}\square, 2\square = \square\square\square\square \qquad (3.5) \\ 1, & \square\square\square\ \square\square\square\square\circ \quad \dfrac{\square^*\ \square 1,1\square}{\Delta}\square, 2\square = \square\square\square\square \qquad (3.6) \end{cases}$$

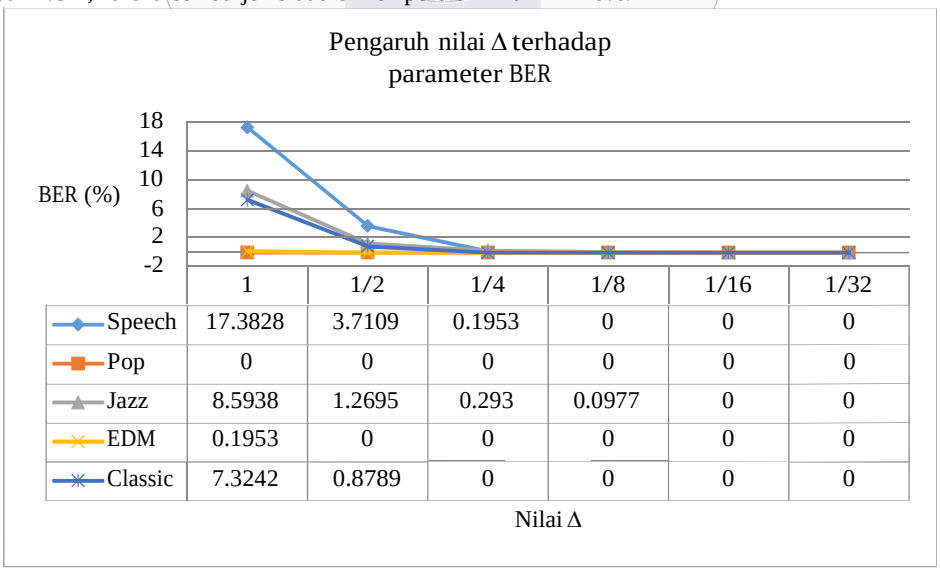
4. Rekontruksi
   Bit watermark hasil ekstraksi digabungkan ke dalam matriks 1-D ($\square'_{\square}$) kemudian disusun kembali menjadi matriks 2-D ($\square'_{\square}$) M x M. Selanjutnya mengkonversi bit-bit watermark tersebut menjadi warna hitam putih di setiap piksel citra sehingga didapat citra hasil ekstraksi.

4. Pengujian Sistem dan Analisis

Strategi penyisipan bit dilakukan dengan memodifikasi elemen S(1,1) hasil dekomposisi SVD sinyal host menggunakan teknik QIM. Variabel yang berpengaruh untuk mendapatkan hasil penyisipan bit yang baik adalah variabel Δ, besar kecilnya nilai Δ secara tidak langsung mempengaruhi kualitas data host yang disisipi dan data watermark yang disisipkan. Nilai Δ yang digunakan dalam pengujian sistem adalah 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, dan 1/32. Dilakukan penyisipan terhadap 5 jenis file audio dengan panjang frame 256 sampel pada setiap jenis file audio dan panjang bit watermark yang disisipkan sepanjang 1024 bit. Dilanjutkan proses ekstraksi audio terwatermark tanpa serangan, untuk melihat pengaruh nilai dari Δ terhadap parameter BER, SNR, dan ODG. Selanjutnya pengujian ketahanan sistem terhadap serangan, audio terwatermak diberikan beberapa serangan kemudian dilakukan proses ekstraksi. Ketahanan sistem diukur dari hasil parameter BER yang didapat.

4.1. Pengaruh nilai Δ terhadap parameter BER

Pada Gambar 4.1 di bawah menunjukkan bahwa perubahan nilai Δ berpengaruh signifikan pada beberapa jenis file audio speech dan jazz. Dapat diketahui nilai Δ yang tepat untuk digunakan pada sistem, yaitu pada saat nilai Δ 1/16 dan 1/32 , karena semua jenis audio memperoleh nilai BER 0%.

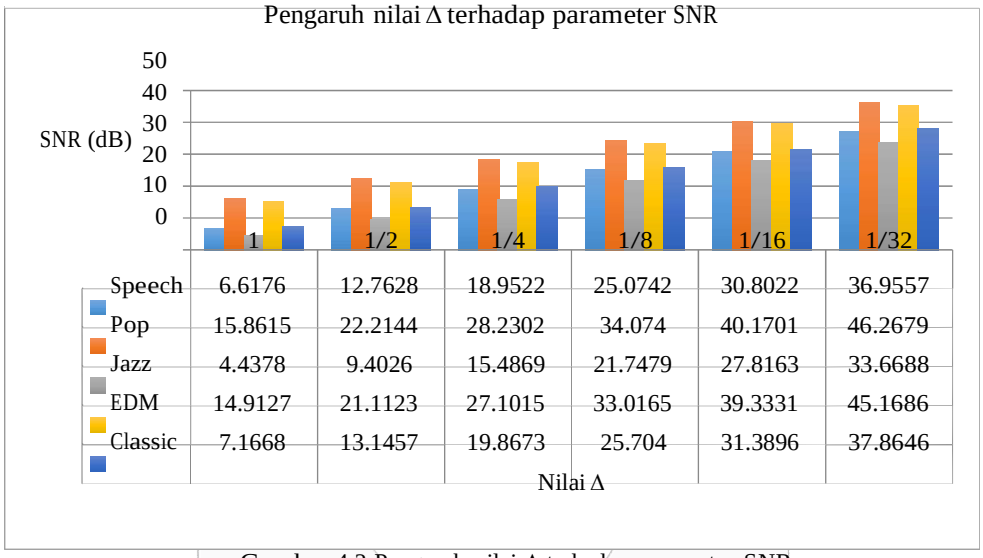


	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
Speech	17.3828	3.7109	0.1953	0	0	0
Pop	0	0	0	0	0	0
Jazz	8.5938	1.2695	0.293	0.0977	0	0
EDM	0.1953	0	0	0	0	0
Classic	7.3242	0.8789	0	0	0	0

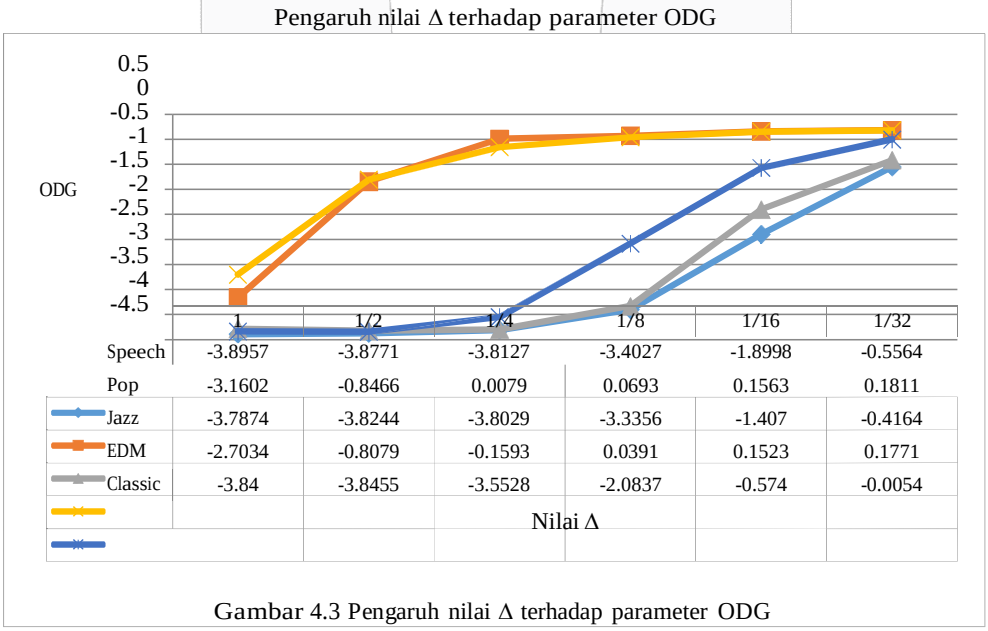
Gambar 4.1 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter BER

4.2. Pengaruh nilai Δ terhadap parameter SNR dan ODG

Nilai Δ juga berpengaruh pada kualitas data host yang disisipi atau audio terwatermark dengan melihat parameter SNR dan ODG. Untuk parameter SNR, kualitas dari audio terwatermark dapat dikatakan baik apabila memiliki nilai SNR > 20dB. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa pada saat nilai Δ 1/8, semua jenis audio telah mencapai lebih dari 20 dB. Sedangkan parameter ODG, nilai ODG yang diharapkan dari audio terwatermark hasil penyisipan berada pada sekitar nilai -1 atau lebih. Jenis file audio pop dan EDM saat Δ 1/2, nilai ODG sudah mencapai lebih dari -1, kemudian dilanjutkan jenis audio classic pada saat Δ 1/16, 2 jenis audio lainnya yaitu jazz dan speech nilai Δ yang digunakan pada sistem untuk memperoleh nilai ODG lebih dari -1 ketika Δ 1/32.



Gambar 4.2 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter SNR



Gambar 4.3 Pengaruh nilai Δ terhadap parameter ODG

4.3. Penilaian MOS

Penilaian subjektif terhadap audio terwatermark dapat menggunakan metode MOS. MOS dilakukan dengan cara meminta pendapat dari responden untuk membandingkan audio asli atau sebelum disisipi data watermark dengan audio terwatermark atau yang sudah dilakukan proses penyisipan. Responden yang dimintai pendapat guna mendapatkan nilai MOS ini sebanyak 20 orang. Ada 5 jenis file audio yang digunakan dalam melakukan penilaian subjektif terhadap audio terwatermark ini. Namun setiap jenis file audio dilakukan penilaian MOS berdasarkan

nilai Δ yang digunakan. Pada penilaian MOS ini Δ yang digunakan adalah 1, 1/4, dan 1/16. Hasil penilaian subjektif dapat dilihat pada Tabel 4-1 di bawah.

Tabel 4-1 Penilaian MOS audio terwatermark

Audio	Nilai Δ		
	1	1/4	1/16
Speech	2.5	3.55	4.55
Pop	4.2	4.45	4.8
Jazz	2.4	3.65	4.7
EDM	3.95	4.5	4.85
Classic	1.75	4.2	4.6
Rata-rata	2.96	4.07	4.7

4.4. Analisis ketahanan sistem terhadap serangan

Pengujian ketahanan sistem blind audio watermarking yang telah dibuat dilakukan hanya terhadap jenis file audio speech yang telah disisipi citra hitam putih dengan variabel Δ bernilai 1/4, 1/8, 1/16, dan 1/32. Sebelum melakukan proses ekstraksi, audio terwatermark yang dipilih diberikan beberapa serangan terlebih dahulu. Kemudian diukur nilai BER dari data watermark hasil ekstraksi audio tersebut. Serangan yang diujikan pada sistem yaitu LPF, Noise Addition, Linier Speed Change, MP3 Compression, dan MP4 Compression.

Tabel 4-2 Serangan Noise Addition

Gain	BER (%)			
	Δ = 1/4	Δ = 1/8	Δ = 1/16	Δ = 1/32
1/10	1.3672	8.8867	28.125	45.4102
1/15	0.4883	1.7578	15.2344	36.3281
1/20	0.1953	0.6836	7.6172	28.3203
1/25	0.1953	0.3906	3.3203	20.4102
1/30	0.1953	0	1.6602	14.3555

Tabel 4-3 Serangan LPF

Frekensi cut-off (kHz)	BER (%)			
	Δ = 1/4	Δ = 1/8	Δ = 1/16	Δ = 1/32
2000	1.2695	3.418	8.4961	16.0156
4000	0.4883	0.8789	1.0742	2.2461
6000	0.293	0.6836	0.8789	0.6836
8000	0.1953	0.0977	0.5859	0.6836
10000	0.1953	0	0	0.293

Tabel 4-4 Serangan Linier Speed Change

Persentase Change(%)	BER (%)			
	Δ = 1/4	Δ = 1/8	Δ = 1/16	Δ = 1/32
9	0.1953	0	0	0
10	0.1953	0	0	0
11	0.1953	0	0	0

Tabel 4-5 Serangan MP3 Compression

Bit Rate	BER (%)			
	Δ = 1/4	Δ = 1/8	Δ = 1/16	Δ = 1/32
32k	4.58	25.097	43.55	54.1
64k	4.58	25.097	43.55	54.1
128k	4.58	25.097	43.55	54.1

Table 4-6 Serangan MP4 Compression

Bit Rate	BER (%)			
	Δ = 1/4	Δ = 1/8	Δ = 1/16	Δ = 1/32
32k	0.58	1.46	6.54	26.36
64k	0.58	1.46	6.54	26.36
128k	0.58	1.46	6.54	26.36

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pengujian sistem, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Implemetasi metode SVD dengan teknik QIM pada sistem blind audio watermarking yang dibuat dapat berjalan dengan baik, dimana sistem mampu mencapai nilai BER 0% dan SNR diatas 20 dB, dan ODG lebih dari -1.
2. Variabel Δ merupakan variabel penentu dari hasil kuantisasi pada proses penyisipan bit watermark dan berpengaruh terhadap nilai parameter BER, SNR, dan ODG dari audio terwatermark. Saat Δ ≤ 1/16, parameter BER dapat mencapai nilai 0% untuk setiap jenis audio yang diujikan.
3. Pada parameter SNR dan ODG, jika Δ semakin kecil maka nilai dari parameter SNR dan ODG akan semakin naik. Hal ini karena saat Δ bernilai kecil, hasil kuantisasi sinyal audio akan lebih baik dalam merepresentasikan bit-bit watermark yang disisipkan.

4. Parameter SNR dapat mencapai diatas 20 dB untuk setiap jenis audio pada saat nilai $\Delta \leq 1/8$. Sedangkan untuk parameter ODG, saat $\Delta = 1/2$ jenis audio pop dan EDM sudah mencapai lebih dari -1. Jenis audio classic mendapat ODG lebih dari -1 saat $\Delta = 1/16$, sedangkan jenis audio lainnya yaitu jazz dan speech harus menggunakan $\Delta = 1/32$ jika ingin mendapatkan ODG lebih dari -1.
5. Sistem blind audio watermarking yang dibangun sangat tahan terhadap serangan linier speed change, baik pada persentase change 9%, 10%, dan 11%. Nilai parameter BER yang didapat dari audio terwatermark dengan serangan linier speec change ini, sama seperti nilai BER bila tanpa serangan.
6. Pada serangan Noise Addition dan LPF, sistem yang dibangun tahan terhadap serangan hanya pada audio terwatermark dengan $\Delta = 1/8$. Namun ketahanan sistem hanya pada level tertentu, yaitu saat nilai variabel gain = 1/30 untuk serangan noise addition dan saat frekuensi cut-off = 10.000 Hz untuk serangan LPF.
7. Dalam serangan MP3 Compression dan MP4 Compression, sistem tidak dapat mencapai nilai BER 0% untuk setiap audio terwatermark yang diujikan, sehingga sistem dikatakan tidak tahan terhadap serangan tersebut.

5.2. Saran

Berikut saran yang bisa dilakukan untuk mengembangkan sistem ini.

1. Strategi penyisipan bit watermark bisa dilakukan dengan cara lain seperti misalnya LSB coding ataupun phase coding.
2. Mengkombinasikan metode SVD dengan metode lainnya seperti DWT dan DCT dalam mencari tempat penyisipan bit watermark.
3. Sistem dapat disimulasikan lebih lanjut pada bahasa pemograman yang lain seperti bahasa java, C, dan sebagainya.

Daftar Pustaka:

[1] Petrovic, R. 2001. "Audio signal watermarking based on replica modulation", 5th International Conference TELSIKS'01, 227-234.

[2] Yusuf, Nurbani. 2016. “Analisis Ketahanan Audio Watermarking Di Domain Frekuensi Pada Ambient Mode Dengan Menggunakan Frequency Masking Method”, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

[3] Rambe, Souchi J. 2011. “Analisis Disparity Image dan Implementasi Koreksi Dari Gambar Stereo Untuk Mengoptimalkan Citra Stereoscopy”. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara.

[4] Julius, A. 2012. “Analisis Watermark pada File Audio Berbasis Metode Phase Coding”. IT Telkom Bandung.

[5] Chauhan, S., Rizvi, S. 2013. “A Survey: Digital Audio Watermarking Techniques and Applications”, 4th International Conference on Computer and Communication Technologies, 185-192.

[6] Gunawan,Ibnu, Kartika Gunadi,2005,”Pembuatan Perangkat Lunak WAVE Manipulation Untuk Memanipulasi File Wav”, Fakultas Teknologi Industri,Jurusan Teknik Imformatika,Universitas Kristen Petra.

[7] Parahita, M. 2009. “Perancangan dan Implementasi Blind Watermarking Pada Citra Digital Berbasis Transformasi Wavelet Diskrit Menggunakan Metode SVD”. IT Telkom Bandung.

[8] Chen, Brian, and Gregory Wornell. 2001.”Quantization Index Modulation Methods for Digital Watermarking and Information Embedding of Multimedia”. Journal of VLSI Signal Processing 27, 7-33.

[9] Minh, Nhut, and Masashi Unoki. 2015. “Robust and Reliable Audio Watermarking Based On Phase Coding”. IEEE.

[10] Kumar, Pranab and Tetsuya Shimamura.2014.”Advances in Audio Watermarking Based on Singular Value Decomposition”. SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering.