

AUDIO WATERMARKING DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAST FOURIER TRANSFORM (FFT) DAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD)

Audio Watermarking by Fast Fourier Transform (FFT) and Singular Value Decomposition (SVD)

Robinson Pakpahan¹, Ratri Dwi Atmaja, S.T., M.T.², Sofia Saidah, S.T., M.T.³

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

Jln. Telekomunikasi No. 1 Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

¹Robinzon126@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang semakin maju membuat memudahkan orang dalam melakukan duplikasi dan menyebarkan konten *audio* digital tanpa sepengetahuan pemilik, khususnya pada dunia digital. Hal ini membuat dirancang *Watermarking* yang digunakan untuk melindungi hak cipta pemilik khususnya pada data *audio*.

Pada penelitian ini dirancang dan direalisasikan *Watermarking* untuk *audio* digital untuk menjaga hak cipta pemilik *audio* dengan melakukan penyisipan citra informasi kedalam suatu file *audio* dan ekstraksi *audio* ter-*Watermark* dengan menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) dan SVD (*Singular Value Decomposition*)

Metode FFT (*Fast Fourier Transform*) merupakan pembawa suatu citra dari ruang spasial ke ruang frekuensi dan metode SVD (*Singular Value Decomposition*) merupakan salah satu alat matematis yang digunakan untuk merepresentasikan sebuah matrik dan mampu melakukan berbagai analisis dan komputasi.

Berdasarkan *audio Watermarking*, *audio Watermarking* dengan metode *Fast Fourier Transform* dan *Singular Value Decomposition* dapat menyisipkan citra dan menghasilkan performansi *audio* ter-*Watermark* dengan nilai terbaik BER 0%, SSIM 1, dan SNR tertinggi 69db.

Kata kunci: *Audio Watermarking, Fast Fourier Transform, Singular Decomposition Value*

ABSTRACT

The development of increasingly advanced technology makes it easier for people to duplicate and distribute digital audio content without the owner's knowledge, especially in the digital world. This makes designed watermarking used to protect copyright owners in particular in the audio data.

In this study, designed and realized watermarking for digital audio to keep the copyright owner of audio by inserting image information into an audio file and extract audio ter-Watermark by using FFT (Fast Fourier Transform) and SVD (Singular Value Decomposition)

The FFT (Fast Fourier Transform) method is the carrier of an image from spatial space to the frequency space and the SVD method (Singular Value Decomposition) is one of the mathematical tools used to represent a matrix and is capable of performing various analyzes and computations.

Based on the Watermarking audio, Watermarking audio with Fast Fourier Transform and Singular Value Decomposition methods can insert images and produce the best Watermark audio performance with the best BER 0%, SSIM 1, and 69db highest SNR values.

Keywords: *Audio Watermarking, Fast Fourier Transform, Singular Decomposition Value*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi informasi yang semakin meningkat yang membuat penyebaran data multimedia digital khususnya data *audio* menjadi semakin mudah, dimana akses informasi dan data lebih cepat dan mudah dengan adanya internet saat ini. Kemudahan dalam menyalin data digital telah membuat pembajakan multimedia digital khususnya data *audio* menjadi semakin besar di dunia saat ini. Dengan hal ini dapat memicu masalah yaitu mengenai kepemilikan dan hak cipta dari data tersebut, karena setiap orang dapat dengan mudah mengambil dan memodifikasi data tersebut secara ilegal oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab dengan mengakui bahwa data itu adalah miliknya. Dengan adanya masalah tersebut maka

dibutuhkan sebuah solusi yang dapat digunakan untuk melindungi hak cipta kepemilikan suatu data. *Digital Watermarking* telah berkembang sebagai solusi untuk masalah tersebut.

Pada penelitian ini dirancang sebuah program yang dapat melakukan penyisipan suatu *citra* pada sebuah data *audio* dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Singular Value Decomposition* (SVD) dengan *Quantization Index Modulation* (QIM) sebagai metode *embedding*, sehingga dengan metode tersebut sistem akan memiliki kelebihan terhadap *robustness* dan kapasitas data yang dapat disisipkan.

Hasil dari *audio Watermarking* didapatkan hasil performansi dengan mencapai nilai tertinggi BER 0% pada 5 jenis *host audio* yang berbeda, namun untuk nilai SNR mencapai nilai tertinggi 69db sehingga hasil *audio ter-Watermark* maksimal, dan untuk nilai SSIM mencapai nilai maksimal 1. Untuk parameter subjektif diperoleh nilai rata-rata MOS ≥ 4.5 .

2. Dasar Teori

2.1 Digital Watermarking

Watermarking adalah salah satu cara menyembunyikan atau menanamkan data atau informasi tertentu ke dalam suatu data digital lainnya, tanpa diketahui kehadirannya oleh indera manusia (penglihatan maupun pendengaran) indera manusia. Informasi tersebut disebut *Watermark*. [3]

2.2 Quantization Index Modulation (QIM)^[5]

Quantization index modulation adalah sebuah metode dimana sinyal *host* dikuantisasi ke dalam data *Watermark* dengan dua atau urutan *quantizer*, dimana *quantizer* ini memiliki indeks masing-masing.

2.2.1 QIM Encoding

Komponen x adalah sinyal *host* yang terdiri dari sejumlah N sampel dengan satu bit data yang disisipkan pada L sampel. Untuk mengkuantisasi sinyal *host* dapat dituliskan pada dua persamaan vektor berikut.

$$d[k, 1] = \begin{cases} d[k, 0] + \frac{\Delta}{2} & d[k, 0] < 0 \\ d[k, 1] - \frac{\Delta}{2} & d[k, 0] < 1 \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, N/L \quad (2.1)$$

Dimana $d[k, 0]$ menjadi urutan *pseudo-random* dengan distribusi uniform $[-\Delta/2, \Delta/2]$ dan Δ adalah angka dari tahapan kuantisasi. Panjang dari vektor tersebut adalah N/L yang harus sesuai dengan data yang akan disisipkan pada sinyal *host*. $d[k, 0]$ dan $d[k, 1]$ digunakan untuk penyisipan bit 0 dan 1. Sinyal *host* yang dikuantisasi dengan persamaan vektor tersebut dapat didefinisikan dengan persamaan *embedding* dibawah ini.

$$S(x; m_k) = q\Delta(x + d[k, m_k]) - d[k, m_k] \quad (2.2)$$

Dimana $q\Delta(x)$ adalah fungsi kuantisasi dengan nilai tahapan Δ , dapat didefinisikan seperti dibawah ini.

$$q\Delta(x) = \text{round}(x / \Delta) \Delta \quad (2.3)$$

2.2.2 QIM Decoding

Selama proses deteksi, *decoder* menghitung $S_0(k)$ dan $S_1(k)$ dengan penyisipan bit 0 dan 1 pada proses *embedding* akan dipisahkan dengan sinyal *host* menjadi $S(k)$ dengan menggunakan cara yang sama pada persamaan (2.14). Deteksi didasarkan dengan mempertimbangkan kedua vektor tersebut yang memiliki jarak minimum *Euclidean* pada penerima. Di dalam *encoder* tertanam satu bit pada masing-masing sampel sinyal *host* ($L=1$), pendeteksian tersebut didefinisikan pada persamaan (2.16).

$$\hat{m}_k = \arg \min (\hat{S}(k) - S_i(k))^2 \quad (2.4)$$

Jika salah satu bit menyebar ke sampel L dari sinyal *host*, *detector* akan mengekstraksi data dengan membandingkan jumlah jarak *Euclidean* sepanjang N antara $S_0(k)$ dan $S_1(k)$ dari sinyal yang diterima. Keputusan diambil berdasarkan yang memiliki jumlah paling minimum, dengan persamaan [13]:

$$\hat{m}_k = \arg \min \sum_{n=(k-1)L+1}^{kL} (\hat{S}(k) - S_i(k))^2 \quad n = 1, 2, \dots, N/L \quad (2.5)$$

2.3 Citra Digital

Citra dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi f dua dimensi dengan x dan y adalah posisi koordinat spasial, sedangkan $f(x, y)$ adalah intensitas atau grayscale citra pada koordinat tersebut. Nilai dari intensitas bentuknya adalah diskrit dengan rentang antara 0 sampai 255. [2]

Citra yang ditangkap oleh kamera dan telah dikuantisasi dalam bentuk nilai diskrit disebut citra digital. Sebuah citra digital diwakili oleh sebuah matriks yang terdiri dari M kolom dan N baris. Dimana perpotongan antara kolom dan baris disebut piksel (pixel = picture element), yaitu elemen terkecil dari sebuah citra. Contoh citra digital yaitu citra yang tersimpan dalam bentuk file gambar (*bmp, jpg, png*) pada komputer sedangkan foto hasil cetak printer merupakan citra analog. [2]

2.4 Fast Fourier Transform(FFT)

Di dalam domain penyisipan, teknik *audio Watermarking* bisa dibagi menjadi 2 bagian yaitu teknik dalam domain waktu, dan teknik dalam domain frekuensi. Di dalam domain frekuensi *Watermarking* menggunakan beberapa transformasi yang biasa seperti *Discrete Fourier Transform (DFT)*, *Fast Fourier Transform (FFT)*, *Modified Discrete Cosine Transform (MDCT)*, dan juga *Wavelet Transform (WT)* dari sinyal, lalu bit yang tersembunyi ditanamkan ke dalam hasil dari koefisien transformasi[4].

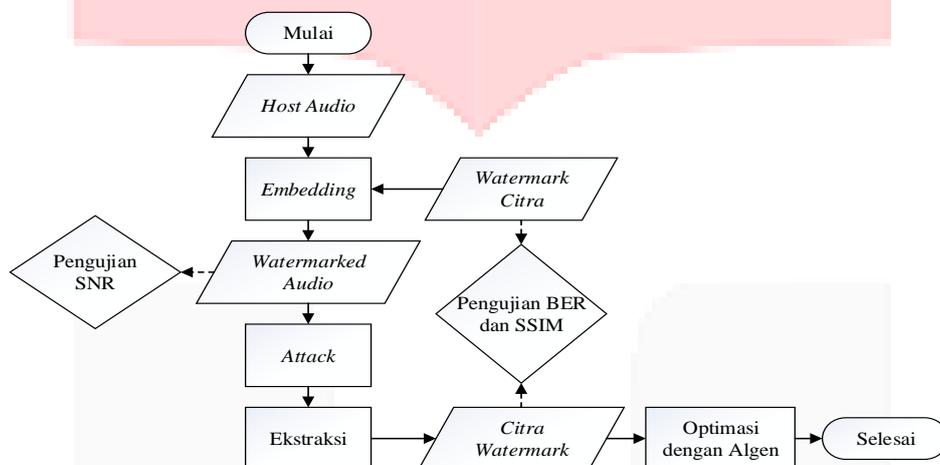
2.5 Singular Value Decomposition (SVD)

Singular Value Decomposition (SVD) merupakan generalisasi dari dekomposisi nilai eigen yang dapat digunakan untuk menganalisis matriks segiempat. Dengan menggunakan dekomposisi nilai eigen, akan mendekomposisi suatu matriks menjadi 2 matriks yang sederhana, sedangkan pada SVD akan mendekomposisi suatu matriks menjadi 3 matriks sederhana yaitu 2 matriks orthogonal dan 1 matriks diagonal. [1]

3. Perancangan Sistem

3.1 Perancangan Sistem

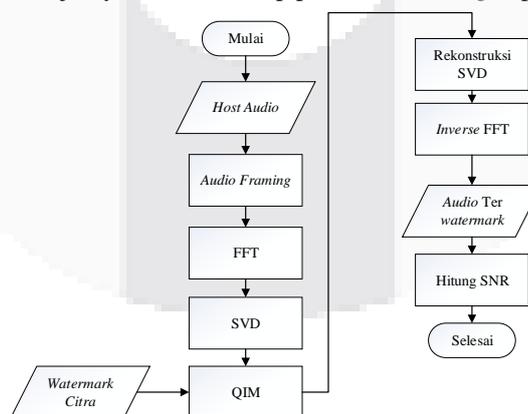
Berikut ini merupakan gambaran umum dari sistem yang akan dirancang dan diimplementasikan pada penelitian ini adalah :



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Keseluruhan

3.2 Diagram Alir Penyisipan

Proses *embedding* merupakan proses penyisipan *Watermark* kedalam *host audio*. *Watermark* yang digunakan adalah *citra* biner hitam putih (*.bmp) dengan *host audio* berupa file wavfile (*.wav) dengan durasi tertentu yang disesuaikan, hasil pada perancangan penyisipan ini nantinya berupa *Watermarked audio* yang akan digunakan untuk proses selanjutnya. Seluruh tahap proses *embedding* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penyisipan

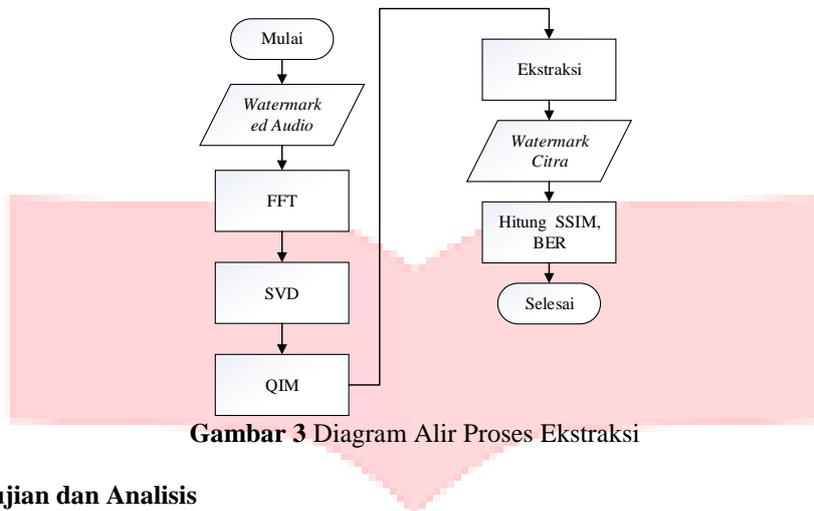
3.3 Diagram Alir Ekstraksi

Ekstraksi merupakan proses pemisahan *Watermark* yang disisipkan pada *host audio*. Tujuan dari proses tersebut agar mengetahui nilai BER dan SSIM sebelum dan setelah dilakukan serangan.

Proses ekstraksi pada *audio Watermarking* yaitu *host audio* yang telah dilakukan penyisipan akan dilakukan konversi domain waktu ke domain frekuensi. *Audio* tersebut akan di dekomposisi menjadi 3 buah

matriks dengan menggunakan metode SVD yaitu matriks U, S, dan VT dimana matriks diagonal S akan mengambil *Watermark* yang disisipkan pada posisi (1,1). Kemudian, dilakukan proses dekuantisasi dengan QIM sehingga *citra Watermark* didapatkan kembali.

Hasil *Watermark citra* tersebut kemudian akan kembali diukur parameter ketahanannya dengan menghitung BER dan SSIM.



Gambar 3 Diagram Alir Proses Ekstraksi

4 Hasil Pengujian dan Analisis

4.1 Pengujian Analisis Serangan

Setelah dilakukan pengujian pengaruh beberapa parameter *input* terhadap parameter *output*. Maka selanjutnya, dilakukan pengujian *audio ter-Watermark* terhadap beberapa serangan yaitu *low pass filter*, *equalizer*, dan *resampling*. *Audio* yang telah diberi serangan kemudian diukur parameter *output*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan parameter yang optimal pada subbab pengujian 4.1 sebelumnya dengan menggunakan parameter yang antara lain:

1. Panjang *frame* : 2048
2. Jumlah Bit Kuantisasi : 5
3. Kedalaman Bit : 32

4.2 Pengujian Ketahanan Watermark Terhadap Beberapa Serangan

Tabel 1. Ketahanan Watermark Terhadap LPF

Jenis <i>Audio</i>	Frekuensi Cut-Off (Hz)	SNR	BER	SSIM
Uji1-Speech	3000	67.5819	0.165	0.6674
	6000	67.5819	0.065	0.868
	9000	67.5819	0.0225	0.9542
Uji2-rap	3000	69.5559	0.205	0.588
	6000	69.5559	0.105	0.7864
	9000	69.5559	0.0375	0.9238
Uji3-jazz	3000	69.0239	0.28	0.4362
	6000	69.0239	0.0375	0.9237
	9000	69.0239	0	1
Uji4-tribal	3000	68.7141	0.205	0.588
	6000	68.7141	0.165	0.6705
	9000	68.7141	0.0775	0.8434
Uji5-pop	3000	68.7632	0.245	0.5072
	6000	68.7632	0.0725	0.8526
	9000	68.7632	0.0575	0.8832

Tabel 2. Ketahanan Watermark Terhadap Resampling

Jenis Audio	Frekuensi Sampling (Hz)	SNR	BER	SSIM
Uji1-Speech	11025	67.5819	0.4775	0.0449
	16000	67.5819	0.4775	0.0449
	22050	67.5819	0.4775	0.0449
Uji2-rap	11025	69.5559	0.475	0.0416
	16000	69.5559	0.475	0.0416
	22050	69.5559	0.475	0.0416
Uji3-jazz	11025	69.0239	0.505	-0.0079
	16000	69.0239	0.505	-0.0079
	22050	69.0239	0.505	-0.0079
Uji4-tribal	11025	68.7141	0.5475	-0.0678
	16000	68.7141	0.5475	-0.0678
	22050	68.7141	0.5475	-0.0678
Uji5-pop	11025	68.7632	0.5	0.0047
	16000	68.7632	0.5	0.0047
	22050	68.7632	0.5	0.0047

Tabel 3. Ketahanan Watermark Terhadap Equalizer

Jenis Audio	SNR	BER	SSIM
Uji1-speech	67.5819	0.5375	-0.0691
Uji2-rap	69.5559	0.4675	0.0662
Uji3-jazz	69.0239	0.4675	0.0637
Uji4-tribal	68.7141	0.48	0.0483
Uji5-pop	68.7632	0.5225	-0.0521

Tabel 4. Ketahanan Watermark terhadap Serangan Kompresi

Jenis Audio	Bit Rate	SNR	BER	SSIM
Uji1-Speech	32k	67.5819	0.515	-0.0196
	64k	67.5819	0.5375	-0.0634
	128k	67.5819	0.4625	0.0761
Uji2-rap	32k	69.5559	0.54	-0.0806
	64k	69.5559	0.485	0.0319
	128k	69.5559	0.49	0.0233
Uji3-jazz	32k	69.0239	0.4975	-0.0086
	64k	69.0239	0.4825	0.0401
	128k	69.0239	0.47	0.0606
Uji4-tribal	32k	68.7141	0.5125	-0.0113
	64k	68.7141	0.475	0.067
	128k	68.7141	0.4575	0.0983
Uji5-pop	32k	68.7632	0.49	0.0272
	64k	68.7632	0.4875	0.025
	128k	68.7632	0.5	-0.0007

4.3 Hasil Pengujian Tanpa Metode Singular Value Decomposition

Pengujian dilakukan dengan menyisipkan watermark citra dengan metode *Quantization Index Modulation* pada audio yang telah dilakukan transformasi ke domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan parameter input sebagai berikut:

1. Panjang frame : 2048
2. Jumlah Bit Kuantisasi : 5
3. Kedalaman Bit : 32

Berikut hasil pengujian yang telah dilakukan tanpa menggunakan metode *Singular Value Decomposition*.

Tabel 5. Pengujian Tanpa Metode *Singular Value Decomposition*

Jenis Audio	SNR	BER	SSIM
Uji1-speech	39.1213	0	1
Uji2-rap	47.3739	0	1
Uji3-jazz	46.0377	0	1
Uji4-tribal	46.7505	0	1
Uji5-pop	39.8679	0	1
Rata - Rata	43.83026	0	1

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian *audio Watermarking* dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* dan metode *Singular Decomposition Value*, kemudian dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Pengaruh Panjang *frame* terhadap kinerja sistem sangat mempengaruhi hasil dari performansi seperti SNR, BER, dan SSIM.
2. Perancangan sistem *audio Watermarking* dengan menggunakan metode FFT dan SVD dapat dilakukan dengan menghasilkan nilai performansi mencapai BER 0%, SNR 69dB, dan SSIM 1.
3. Ketahanan *audio ter-Watermark* terhadap serangan masih mendapatkan nilai BER yang tinggi di beberapa serangan seperti dengan serangan resampling mencapai nilai BER 54% dan pada serangan equalizer mencapai nilai BER 53%. namun *audio ter-Watermark* tahan terhadap serangan LPF dengan nilai BER 0%.
4. Panjang *frame* berpengaruh terhadap SNR, semakin tinggi panjang *frame* maka nilai SNR semakin tinggi.
5. Jumlah bit kuantisasi sangat berpengaruh terhadap nilai BER dan SSIM yang perubahannya besar terhadap beberapa jenis *host*. Namun, pengaruh terhadap SNR tidak terjadi perubahan yang besar dan stabil pada *host* tertentu. namun pada nilai SSIM perubahan nilai panjang *frame* yang kecil menghasilkan nilai yang baik pada SSIM.
6. *Audio watermarking* tanpa menggunakan metode SVD memperoleh hasil yang lebih baik ketika diberi serangan dan tanpa serangan, namun menurunkan kualitas SNR bila dibandingkan dengan menggunakan metode SVD.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Abdi, *Single Value Decomposition and Generalized Single Value Decomposition*, 2007.
- [2] I. Afriliana, *Pengolahan Citra Digital*, Poltek Harapan Bangsa, 2015.
- [3] S. E and M. Winarso, "Technique Steganografi Discrete Cosine Transform," *Metod. Discret. Cosine Transform*, vol. 4, no. 1, pp. 72–85, 2007.
- [4] M. Sadeghzadeh and M. Taherbaghal, "A New Method for *Watermarking* using Genetic Algorithms," pp. 1–8, 2014.
- [5] N. Khademi, M. A. Akhaee, S. M. Ahadi, M. Moradi dan A. Kashi, "*Audio Watermarking* based on Quantization Index Modulation in the frequency domain," *ICSPC 2007 Proc. - 2007 IEEE Int. Conf. Signal Process. Commun.*, 2007.