

PENGARUH KAPASITAS DIMENSI CITRA WATERMARK TERHADAP AUDIO WATERMARKING DENGAN PERPADUAN METODE DWT (DISCRETE WAVELET TRANSFORM) DAN SVD (SINGULAR VALUE DECOMPOSITION)

Togu Novriansyah Turnip¹, Jenny Doloksaribu², Vedtra Purba³, Immanuel Saragih⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika dan Elektro, Institut Teknologi Del
¹toгу@del.ac.id, ²if315025@students.del.ac.id, ³if315026@students.del.ac.id, ⁴if315031@students.del.ac.id

(Naskah masuk: 19 November 2018, diterima untuk diterbitkan: 18 Desember 2018)

Abstrak

Digital *audio watermarking* dibutuhkan untuk memberi perlindungan dari pembajakan musik secara ilegal dan pemberian hak cipta/kepemilikan. Penelitian ini menjelaskan perpaduan metode *audio watermarking* dimana informasi berupa hak cipta disisipkan ke dalam sinyal *audio*. Perpaduan dari metode DWT (*Discrete Wavelet Transform*) dan SVD (*Singular Value Decomposition*) digunakan untuk menyisipkan dan mengekstrak *watermark* dari sinyal *audio*. Informasi atau *watermark* tersebut dapat berupa gambar hitam putih (*biner*) atau huruf-huruf karakter ASCII. Pada penelitian ini sebuah gambar dijadikan sebagai *watermark* dengan berbagai variasi ukuran piksel seperti 10×10, 30×30, 40×40 dan 50×50 piksel. Hasil dari penyisipan *watermark* yang berukuran 30×30 piksel menghasilkan *imperceptibility* yang baik dengan nilai rata-rata diantara 43 sampai dengan 50 dB. Hasil eksperimen yang telah dilakukan juga menunjukkan bahwa kombinasi dari kedua metode tahan (*robustness*) terhadap beberapa serangan seperti *amplify*, *resampling* dan *invert*.

Kata kunci: DWT, SVD, Audio Watermark, Attack, Imperceptibility, Robustness

THE IMPACT OF IMAGE WATERMARK DIMENSION CAPACITY ON AUDIO WATERMARKING COMBINING DWT (DISCRETE WAVELET TRANSFORM) DAN SVD (SINGULAR VALUE DECOMPOSITION) METHODS

Abstract

Digital *audio watermarking* is needed as a protection against online music piracy and copyright issues. This paper describes an *audio watermarking* combination method where the copyright information is imperceptibly added into the *audio* signal. The combination of discrete wavelet transform (DWT) and singular value decomposition (SVD) is used to embed and extract the *watermark* from the *audio* signal. The copyright information or *watermark* could be a binary logo or some unique binary patterns. In this paper, a *watermarked* image is divided into four different capacities of dimension such as 10×10, 30×30, 40×40 and 50×50 pixels. The results of the *watermarked* image are imperceptibly added into the *audio* signal and image with 30×30 pixel dimension has the best mean result ranged from 43 to 50 dB. The experiment result also shows that the combination of DWT and SVD is robust against different attacks such as *amplify*, *resampling* and *invert*.

Keywords: DWT, SVD, Audio Watermark, Attack, Imperceptibility, Robustness

1. PENDAHULUAN

Sesuai dengan perkembangan zaman, media digital seperti *audio* semakin populer di kalangan masyarakat karena telah banyak digunakan dalam media pembelajaran, hiburan, maupun dalam penyampaian informasi. Beberapa tipe dari media *audio* yang telah diciptakan mulai dari WAV, MP3, WMA, FLAC, OGG dan AMR. Semakin berkembangnya era digital, hal ini dapat menjadi salah satu ancaman bagi pertumbuhan industri musik seperti terjadinya pembajakan produk digital.

Beberapa contoh pembajakan media digital berupa *audio* rekaman, penyalinan ilegal dan distribusi *audio* rekaman. Laporan dari *International Federation of The Phonographic Industry* (IFPI) menyatakan bahwa musik ilegal yang diunduh dari 52 *website* ilegal dan beberapa transaksi ilegal yang menyebabkan perkiraan kerugian sekitar US\$ 530 juta.

Watermarking data digital dapat digunakan sebagai bukti kepemilikan untuk membantu penerbit dalam melindungi materi yang mempunyai hak cipta (*copyright*). *Watermark* di dalam data digital tidak

dapat dideteksi ataupun dihilangkan oleh orang yang tidak mengetahui skema penyisipan. Jika ada orang lain yang mengklaim sebuah produk digital sebagai miliknya, maka pemegang hak cipta produk tersebut dapat membuktikan dengan melakukan proses ekstraksi.

Perkembangan teknik *watermarking* memiliki beberapa metode yang dibagi dalam beberapa domain yaitu domain spasial dan domain frekuensi. Teknik *watermarking* dengan domain spasial memiliki kelebihan *imperceptibility* yang baik sedangkan teknik *watermarking* dengan domain frekuensi memiliki kelebihan dalam menghasilkan ketahanan (*robustness*) yang baik (Wijonarko, 2013:1).

Metode yang termasuk dalam domain spasial yaitu metode SVD (*Singular Value Decomposition*) dan yang termasuk dalam domain frekuensi yaitu DWT (*Discrete Wavelet Transform*). Metode DWT-SVD merupakan metode yang memiliki ketahanan terhadap serangan *amplify*, *invert*, *low pass filtering*, *high pass filtering* dan *resampling* untuk *alpha* tertentu (Wijonarko, 2013:10).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas maksimum dari *watermark* (gambar berformat PNG) yang dapat disisipkan ke data digital *audio* berformat WAV, sehingga tidak mengganggu kualitas suara data digital *audio* yang disisipkan beserta menguji ketahanan dari metode DWT-SVD terhadap serangan *amplify*, *invert* dan *resampling*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teknik Watermarking

Teknik *watermarking* adalah proses menambahkan kode identifikasi secara permanen ke dalam data digital. Kode identifikasi tersebut dapat berupa teks, gambar, maupun suara. Selain tidak merusak data digital produk yang akan dilindungi, kode yang disisipkan harus memiliki ketahanan (*robustness*) dari berbagai pemrosesan lanjutan seperti kompresi, *resampling*, *low pass filtering* dan berbagai pemrosesan lainnya

2.2. Metode DWT

Discrete Wavelet Transform (DWT) adalah algoritma transformasi yang dapat memberikan transformasi untuk representasi *time-frequency* dari sinyal dengan proses filter data digital. Metode DWT dapat menghasilkan rekonstruksi sinyal yang sempurna sehingga dapat meningkatkan ketahanan (*robustness*). DWT merupakan metode *watermarking* dan termasuk dalam kelompok domain frekuensi.

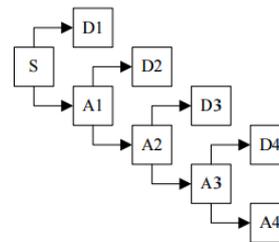
Teknik digital *watermarking* dengan domain frekuensi memiliki kelebihan dalam menghasilkan ketahanan (*robustness*) yang baik. Adapun cara kerja dari metode DWT yaitu berawal dari sinyal *Audio* asli (S). Sinyal *audio* asli akan diubah menjadi vektor, kemudian akan diubah menjadi beberapa koefisien matriks. Sinyal *audio* asli (S) akan diolah berdasarkan

sinyal terendah dan sinyal tertinggi. Sehingga *audio* asli hasil dari pengolahan dengan menggunakan DWT menghasilkan dua himpunan koefisien, yaitu koefisien aproksimasi (A) melalui *low pass filter* dan koefisien detail (D) yang dihasilkan dengan melewatkan sinyal S melalui *high pass filter* (Bambang Wijonarko, 2013:2).

Persamaan (1) DWT didefinisikan sebagai berikut:

$$W(j, k) = \sum_j \sum_k x(k) 2^{-j/2} \Psi(2^{-j}x - k) \quad (1)$$

Dengan $\Psi(t)$ adalah *mother wavelet* atau fungsi *wavelet* yang merupakan suatu fungsi dalam matematika yang digunakan untuk membagi data. Data yang dibagi adalah data *sampel audio* menjadi beberapa komponen frekuensi yang berbeda-beda, sedangkan x adalah sampel sinyal. Pada penelitian ini menggunakan *wavelet haar* yang merupakan jenis *wavelet* yang dapat melakukan transformasi sinyal.



Gambar 1. Dekomposisi DWT 4 Level (Al Haj, 2011)

2.3. Metode SVD

Singular Value Decomposition (SVD) adalah suatu teknik untuk mendekomposisi matriks berukuran apa saja (pada umumnya diaplikasikan untuk matriks dengan ukuran yang sangat besar). SVD merupakan proses faktorisasi matriks yang mendekomposisi suatu matriks menggunakan basis vektor Eigen (Wijonarko, 2013:2).

Metode SVD termasuk dalam teknik *watermarking* dengan domain spasial. Teknik *watermarking* dengan domain spasial memiliki kelebihan dalam menghasilkan *imperceptibility* yang baik.

SVD memungkinkan penyisipan informasi dengan mengubah nilai-nilai *singular* dan perubahan yang dihasilkan tidak signifikan pada nilai *singular* tersebut sehingga dapat menjamin *imperceptibility* yang baik. Jika *input* yang dimasukkan yaitu matriks A maka *output* yang dihasilkan yaitu matriks ortogonal U, V dan matriks singular S, rumus dapat dilihat pada persamaan (2).

$$A = U * S * V^T \quad (2)$$

Dimana:

A = matriks ukuran m*n yang mempresentasikan matriks detail (D)

U = singular vektor dari matriks A dan merupakan vektor yang *orthonormal*

S = diagonal vektor yang menyimpan *singular value* dari koresponding *singular* vektornya

V^T = *singular* vektor dari matriks A yang merupakan vektor yang *orthonormal*

Cara kerja dari metode ini, misalkan suatu data digital disajikan sebagai matriks A dan *watermark* yang akan disisipkan sebagai matriks W . Maka penyisipan *watermark* W ke dalam data digital A dilakukan dengan terlebih dahulu mendekomposisi data digital A menjadi matriks U , S , V untuk mendapatkan nilai *singular* S dari data digital A , nilai *singular value* menyimpan informasi yang sangat penting tentang data, yaitu data yang berkontribusi paling besar terhadap variasi data secara keseluruhan. SVD memungkinkan penyisipan informasi dengan mengubah nilai-nilai *singular* dan perubahan yang dihasilkan tidak signifikan pada nilai *singular* tersebut sehingga dapat menjamin *imperceptibility* yang baik.

2.4. Nilai Alpha

Nilai *alpha* merupakan faktor intensitas yang menentukan kekuatan *watermark* yang akan disisipkan. Nilai *alpha* juga digunakan sebagai faktor penentu untuk kualitas (*imperceptibility*), dari sinyal *audio* dan faktor penentu untuk ketahanan (*robustness*) dari *watermark* yang telah disisipkan.

$$S_w = S + \alpha \cdot W \quad (3)$$

Dimana:

S = matriks *singular*

α = intensitas *watermark*

W = *bit watermark*

S_w = matriks *singular* dengan *bit watermark*

Jika nilai *alpha* tinggi, maka ketahanan ekstraksi *watermark* meningkat tetapi kualitas *audio* yang telah diberi *watermark* akan menurun, sedangkan apabila nilai *alpha* yang rendah dapat membuat ketahanan ekstraksi *watermark* menurun tetapi meningkatkan kualitas *audio* yang telah diberi *watermark* (Tayal, 2016:27).

2.5. Peak Signal Noise Ratio

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut. PSNR biasanya diukur dalam satuan desibel (dB). PSNR digunakan untuk mengetahui perbandingan kualitas *audio* sebelum dan sesudah disisipkan gambar.

Jika nilai PSNR di bawah 30dB menunjukkan kualitas citra atau *audio* yang cukup rendah, jika diatas atau sama dengan 30dB maka menunjukkan kualitas *audio* yang tinggi (Chandra, 2015:13).

Persamaan (1) PSNR dinyatakan dalam satuan dB:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{l^2_{max}}{MSE} \right) \quad (4)$$

Dimana l^2_{max} adalah nilai pixel maksimum yang mungkin dari image l , dan MSE adalah *Mean Square Error* yang didefinisikan sebagai:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (S_{xy} - l_{xy})^2 \quad (5)$$

2.6 Histogram Citra

Histogram citra merupakan grafik yang menggambarkan penyebaran nilai-nilai intensitas piksel dari suatu citra. Sebuah histogram menggambarkan frekuensi kemunculan dari intensitas pada citra tersebut dan histogram juga dapat menunjukkan banyak hak tentang kecerahan (*brightness*) dan kontras dari sebuah citra. Oleh karena itu, histogram adalah alat bantu yang dapat melakukan pengolahan citra baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Iriyanto, 2014:84).

Histogram dari data digital gambar dengan L sebagai total kemungkinan level intensitas dalam rentang $[0, G]$ didefinisikan dengan fungsi diskrit:

$$H(r_k) = n_k \quad (6)$$

Dimana:

r_k = level intensitas dari interval $[0, G]$

n_k = jumlah piksel yang ada pada r_k

$G = 255$

Histogram dari sebuah citra dapat dihitung dengan menggunakan fungsi yang terdapat pada MATLAB.

$$h = imhist(f, b) \quad (7)$$

Dimana:

f = gambar yang di-input

$b = 255$

h = *histogram* $H(r_k)$

Normalized histogram dapat diperoleh dengan membagi semua elemen dari $H(r_k)$ dengan jumlah total piksel gambar dengan formula:

$$P(r_k) = \frac{H(r_k)}{n} = \frac{n_k}{n} \quad (8)$$

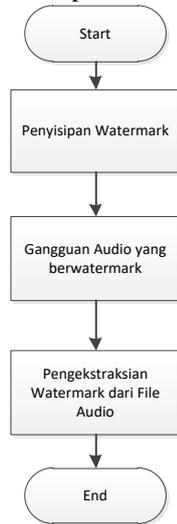
Histogram juga dapat digunakan untuk melihat kesamaan dan perbedaan diantara dua citra yang dinamakan dengan *histogram error*. Nilai *histogram error* didapatkan dari perhitungan nilai *normalized histogram* dari masing-masing gambar dikurangkan antara nilai *normalized histogram* gambar pertama dengan histogram normal gambar kedua, hasil pengurangannya akan dijumlahkan dan kemudian akan dikuadratkan.

Jika kedua gambar memiliki kesamaan dan tidak ada perbedaan maka nilai *histogram error* akan menghasilkan nilai 0, sedangkan jika kedua gambar

memiliki perbedaan yang signifikan maka nilai *histogram error* yang dihasilkan akan menjauhi angka 0 (MATLAB, 2017a and Statistics Toolbox 8.1).

3. METODE PENELITIAN

Secara umum, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Umum Pelaksanaan Penelitian

Berikut merupakan proses-proses yang dilakukan selama melakukan penelitian:

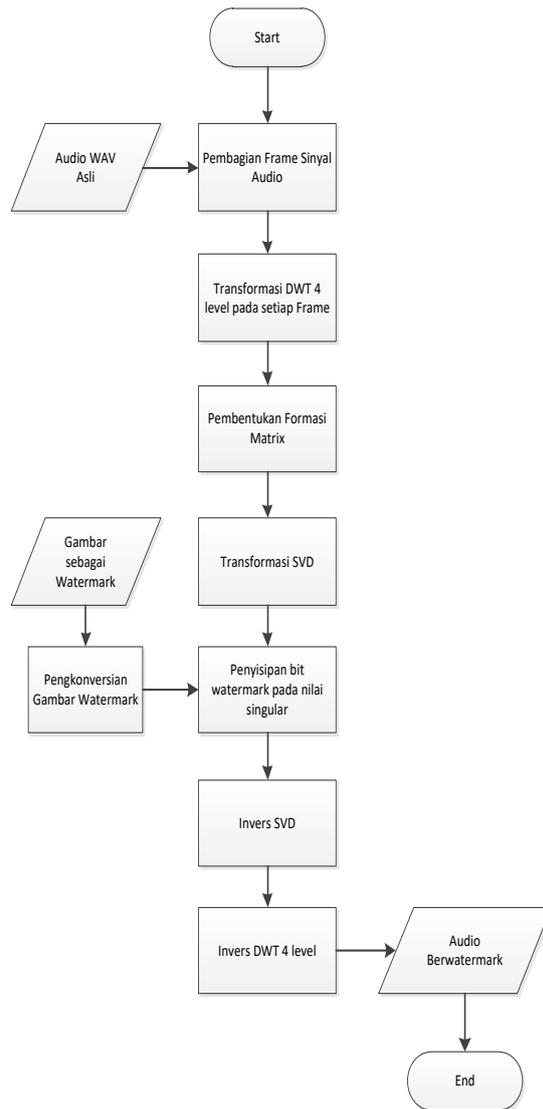
1. Proses Penyisipan Watermark

Proses penyisipan *watermark* dilakukan dengan beberapa tahapan:

1. Pembagian *frame* sinyal *audio*, pada proses ini sinyal *audio* berformat wav dipartisi ke dalam beberapa *frame*.
2. Transformasi DWT 4 Level, proses ini merupakan proses perubahan sinyal *audio* yang telah dipartisi pada setiap *frame* menjadi beberapa koefisien matriks. Kemudian lakukan penyusunan matriks sehingga terbentuk menjadi matriks baru yaitu matriks D dengan ukuran $4 \times (L/2)$, dimana L merupakan panjang tiap *frame*.
3. Hasil pembentukan matriks tersebut kemudian di dekomposisi dengan transformasi SVD sehingga membentuk tiga matriks *orthonormal* yaitu U, S, V. Proses ini merupakan proses yang digunakan untuk mendapatkan nilai *singular* dari matriks pada sinyal *audio*. Dikarenakan metode DWT yang digunakan adalah DWT 4 level maka S yang terbentuk adalah 4×4 matrix diagonal sebagai berikut:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} \end{bmatrix}$$

4. Penyisipan *bit watermark*, proses ini merupakan proses penyisipan *bit watermark* ke dalam sinyal *audio* yang telah ditransformasi dengan metode DWT-SVD dengan Persamaan (3).
5. Perhitungan nilai PSNR, pada proses ini *audio* yang telah diberi *watermark* akan dihitung nilai PSNR-nya. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar *noise* yang dihasilkan dari *audio* tersebut.



Gambar 3. Proses penyisipan watermark

2. Pemberian Gangguan Pada Audio

Sebelum melakukan proses ekstraksi gambar *watermark*, *file audio* akan diberikan gangguan dengan tujuan untuk menguji ketahanan *watermark* di dalam *audio*. Pemberian gangguan *audio* ini menggunakan perangkat lunak Audicity. Adapun beberapa gangguan yang diberikan yaitu:

1. Amplify

Serangan ini dilakukan dengan cara mengubah tingkat *amplitude* (kebisingan) dari *audio*.

2. Resampling

Serangan *Resampling* dilakukan dengan mengubah nilai *sample rate* dari *audio* yang sudah diberi *watermark*, untuk *file audio wav sample rate* pada umumnya yaitu 44100 Hz, apabila *sample rate* diturunkan menjadi 42000 maka akan membuat durasi dari *audio* lebih lama sedangkan apabila dinaikkan menjadi 48000 maka akan membuat durasi *audio* menjadi lebih cepat.

3. Invert

Serangan *invert* dilakukan dengan mengubah seluruh nilai *sample audio* dengan nilai kebalikannya berdasarkan *phase shift* 180 derajat.

3. Proses Ekstraksi Watermark

Proses pengekstrakan *watermark* dilakukan dengan beberapa tahapan:

1. Pada tahap pertama yaitu mempersiapkan audio yang telah diberi *watermark*.
2. Kemudian sinyal *audio* kembali di partisi ke dalam beberapa *frame* dengan proses yang sama pada tahap penyisipan.
3. Kemudian setiap *frame* di transformasi dengan metode DWT dan menghasilkan formasi matriks baru.
4. Matriks baru yang terbentuk akan di dekomposisi dengan operator SVD dengan menggunakan matriks *singular* (S_j), U_i , dan V_i^T dari proses penyisipan, hasil matriks tersebut menghasilkan matriks S_w .
5. Kemudian lakukan ekstraksi *watermark* dari matriks S_w' dengan cara menghitung rata-rata nilai *non-diagonal* dari matriks tersebut.
6. Penentuan bit watermark $w(n)$ hasil ekstraksi dengan membandingkan nilai S_{11} pada audio yang berwatermark S_{11w} . Jika hasil $S_{11w} / S_{11} = 1$ maka bit watermark hasil ekstraksi adalah 0, dan sebaliknya.
7. Setelah melakukan ekstraksi *bit watermark* maka gambar biner akan terbentuk.

6. File Audio WAV

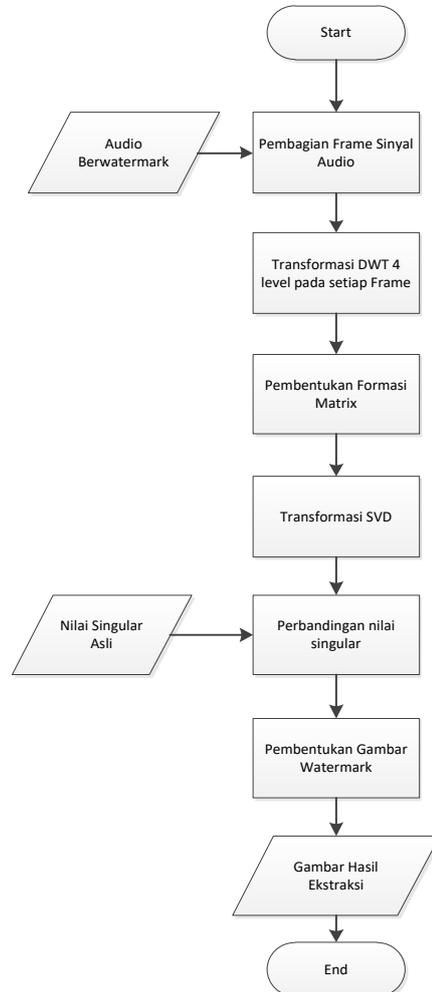
File audio WAV yang digunakan yaitu *file audio* dengan berbagai *genre* yaitu *jazz*, *rock* dan *classic*. *File audio* tersebut mempunyai *sample rate* yang sama yaitu sebesar 44100 Hz dan memiliki durasi sekitar 30 detik. *Dataset audio WAV* yang digunakan dalam penelitian ini adalah **GTZAN Genre Collection**.

7. Citra Watermark Asli



Gambar 5. Data Citra Watermark Asli

Gambar 5 merupakan logo IT del yang digunakan sebagai citra *watermark* asli yang akan disisipkan ke data digital audio. Pada penelitian ini, data digital citra akan dibuat menjadi empat jenis ukuran yaitu 10×10 , 30×30 , 40×40 dan 50×50 piksel.



Gambar 4. Proses ekstraksi watermark

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil dan pembahasan dari penelitian ini adalah:

A. Hasil Proses Penyisipan Watermark

Penyisipan *watermark* dilakukan dengan *watermark* berukuran 10×10 , 30×30 , 40×40 dan 50×50 piksel, dari hasil penelitian *watermark* 10×10 dan 30×30 piksel merupakan *watermark* yang baik karena kualitas *audio* yang dihasilkan menghasilkan nilai PSNR di atas 30 dB.

Penyisipan *watermark* pada Tabel 1 dilakukan pada *audio* dengan *genre jazz*, *rock* dan *classic*, dengan alpha 0.3 – 0.9, *audio* dengan *genre rock* merupakan *audio* dengan nilai PSNR paling baik karena lebih tinggi dari nilai PSNR pada *audio* jenis lain.

Tabel 1. Watermark 10 × 10 Piksel

Genre	Alpha	PSNR	Waktu Eksekusi
Jazz	0.3	62.606	0,684
	0.5	58.451	0,616
	0.7	55.875	0,579
	0.9	53.973	0,615
Rata-rata	57.726	0,624	
Rock	0.3	63.073	0,568
	0.5	58.827	0,566
	0.7	56.027	0,604
	0.9	53.908	0,576
Rata-rata	57.959	0,579	
Classic	0.3	59.828	0,562
	0.5	55.921	0,558
	0.7	54.608	0,55
	0.9	55.814	0,556
Rata-rata	56.543	0,557	

Tabel 2. Watermark 30 × 30 Piksel

Genre	Alpha	PSNR	Waktu Eksekusi
Jazz	0.3	51.011	2,432
	0.5	46.499	2,067
	0.7	43.836	2,028
	0.9	41.749	1,975
Rata-rata	45.774	2,126	
Rock	0.3	49.315	1,840
	0.5	44.575	1,854
	0.7	41.535	1,910
	0.9	39.297	1,859
Rata-rata	43.681	1,866	
Classic	0.3	55.270	1,900
	0.5	51.557	1,882
	0.7	47.892	1,886
	0.9	45.012	2,219
Rata-rata	49.933	1,972	

Tabel 3. Watermark 40 × 40 Piksel

Genre	Alpha	PSNR	Waktu Eksekusi
Jazz	0.3	12.561	3,185
	0.5	12.559	3,042
	0.7	12.556	2,971
	0.9	12.552	3,011
Rata-rata	12.557	3,052	
Rock	0.3	10.084	2,980
	0.5	10.083	2,951
	0.7	10.080	3,029
	0.9	10.077	3,034
Rata-rata	10.081	2,999	
Classic	0.3	14.159	2,955
	0.5	14.157	2,983
	0.7	14.154	3,350
	0.9	14.149	3,008
Rata-rata	14.155	3,074	

Penyisipan *watermark* pada Tabel 2 dilakukan pada *audio* dengan genre *jazz*, *rock* dan *classic*, dengan *alpha* 0.3 – 0.9, *audio* dengan genre *classic* merupakan *audio* dengan nilai PSNR paling baik

karena lebih tinggi dari nilai PSNR pada *audio* jenis lain.

Dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa semakin besar *alpha* yang diberikan pada *audio*, maka kualitas *audio* dilihat dari nilai PSNR semakin menurun dan waktu eksekusi yang diperoleh dari semua *genre audio* terhadap semua *alpha* yaitu antara 3.973 *second* - 4.260 *second*. *Audio* ber-*genre jazz* dan *rock* merupakan *audio* dengan nilai rata-rata PSNR paling rendah dibandingkan nilai PSNR pada *audio* dengan *genre classic*.

Tabel 4. Watermark 50 × 50 Piksel

Genre	Alpha	PSNR	Waktu Eksekusi
Jazz	0.3	12.418	4,097
	0.5	12.415	3,991
	0.7	12.409	4,047
	0.9	12.401	3,992
Rata-rata	12.411	4,032	
Rock	0.3	9.937	4,085
	0.5	9.935	4,260
	0.7	9.932	4,056
	0.9	9.926	4,050
Rata-rata	9.933	4,113	
Classic	0.3	14.280	4,022
	0.5	14.276	3,973
	0.7	14.270	4,148
	0.9	14.260	4,069
Rata-rata	14.272	4,053	

Dari Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa semakin besar *alpha* yang diberikan pada *audio*, maka kualitas *audio* dilihat dari nilai PSNR semakin menurun dan waktu eksekusi yang diperoleh dari semua *genre audio* terhadap semua *alpha* yaitu antara 4.032 *second* - 4.113 *second*. *Audio* dengan *genre jazz* merupakan *audio* dengan nilai rata-rata PSNR paling tinggi dibandingkan nilai PSNR pada *audio* jenis lain.

Perbedaan nilai PSNR pada ketiga jenis *audio* tersebut karena adanya kemungkinan perbedaan karakteristik pada ketiga jenis *audio* tersebut. Nilai-nilai sampel pada jenis *audio jazz* dan *rock* secara keseluruhan relatif lebih rendah dibandingkan dengan nilai-nilai sampel pada jenis *audio classic*. Oleh karena itu, proses penyisipan *watermark* pada *audio jazz* dan *rock* dengan nilai *alpha* yang sama menyebabkan perubahan pada nilai-nilai singular yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan perubahan nilai-nilai singular pada jenis *audio classic*. Hal ini menyebabkan tingkat distorsi pada *audio classic* lebih tinggi dibandingkan dengan jenis *audio* lainnya.

Penggunaan *watermark* ukuran 40×40 dan 50×50 piksel menghasilkan *audio* dengan nilai PSNR yang tidak baik yaitu PSNR di bawah 30dB. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kapasitas ukuran *watermark* diatas 40×40 piksel merupakan kapasitas batas maksimum *watermark* yang disisipkan ke dalam *audio* ber-*genre jazz*, *rock* dan *classic*.

B. Hasil Proses Ekstraksi Watermark

Proses ekstraksi *watermark* dilakukan dengan cara memberikan gangguan pada *audio* dan mengekstraksi *watermark* dari *audio*, *watermark* yang telah di ekstrak kemudian dibandingkan antara *watermark* yang tanpa serangan dengan *watermark* dengan serangan, dan untuk melihat perbedaanya yaitu dengan menggunakan nilai histogram *error*. Hasil yang diperoleh dari proses ekstraksi *watermark* ini yaitu:

Tabel 5. Hasil Evaluasi Ketahanan Watermark

Jenis Serangan	Intensitas serangan	Hasil Ekstraksi	Nilai Histogram Error
<i>Amplify</i>	0.5 dB		0.0060
	1 db		0.0076
	1.5 db		0.0072
	2 db		0.0066
<i>Resampling</i>	16000 Hz		0.0050
	44100 Hz		0.0056
<i>Invert</i>	-		0.0083

Tabel 5 menampilkan gambar *watermark* hasil ekstraksi dengan berbagai intensitas gangguan, dan hasil menunjukkan bahwa gangguan jenis *amplify* menghasilkan nilai histogram *error* diantara 0.0060 – 0.0076 untuk intensitas gangguan 0.5 sampai 2 dB, gangguan jenis *resampling* menghasilkan nilai histogram *error* diantara 0.0050 – 0.0056 untuk intensitas gangguan 16000 Hz dan 44100 Hz, sedangkan jenis gangguan *invert* menghasilkan nilai histogram *error* 0.0083.

Hasil dari penyisipan *image* berukuran 10×10 piksel, 30×30 piksel, 40×40 piksel, dan 50×50 piksel pada 3 *genre audio* yaitu *jazz*, *rock*, dan *classic*, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar piksel dari *watermark* yang disisipkan, maka akan semakin buruk kualitas dari *audio*. Hal ini terlihat dari penurunan nilai PSNR yang didapatkan. Selain itu semakin besar nilai *alpha* yang diberikan pada *audio*, maka akan semakin buruk kualitas dari *audio*.

Hal ini terlihat dari nilai PSNR yang semakin menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ukuran maksimal *watermark* yang disisipkan antara 10×10 piksel, 30×30 piksel, 40×40 piksel dan 50×50 piksel, adalah sebesar 30×30 piksel pada *audio* berdurasi 30 detik dan

memiliki *sample rate* yang sama yaitu sebesar 44100 Hz.

Hasil analisis ketahanan *watermark* terhadap serangan dapat disimpulkan bahwa serangan pada *audio* berupa *amplify*, *resampling* dan *invert* hampir tidak mengubah *watermark* hasil dari penyisipan. Hal ini dapat dilihat dari nilai *histogram error* yang semakin mendekati nol yang berarti *watermark* hasil dari penyisipan tidak jauh merubah *watermark* hasil serangan.

5. KESIMPULAN

Melalui penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin besar ukuran piksel dari gambar yang dijadikan *watermark*, maka semakin menurun kualitas dari *audio* yang dapat dilihat pada penurunan nilai PSNR *audio*, pada *watermark* berukuran 10×10 piksel kualitas *audio* dapat lebih baik dengan rata-rata nilai PSNR 56 hingga 57 dB untuk jenis *genre audio jazz*, *rock*, dan *classic*, sementara *watermark* berukuran 40×40 dan 50×50 piksel kualitas *audio* sangat menurun dengan rata-rata nilai PSNR 10 sampai 14 dB untuk jenis *genre audio* yang sama.
2. *Watermark* yang dapat menghasilkan PSNR lebih besar dari 30dB adalah *watermark* berukuran 10×10 piksel dan *watermark* berukuran 30×30 piksel dari semua ukuran *watermark* yang diujikan.
3. Metode DWT-SVD memiliki ketahanan terhadap serangan *amplify*, *resampling* dan *invert*.
4. Dari tiga *genre* yang diujikan, *genre classic* merupakan *genre* yang memiliki nilai PSNR yang lebih tinggi pada proses penyisipan *watermark*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LPPM Institut Teknologi Del yang memberikan dana penyelenggaraan dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ADRIANSYAH, Y. 2011. Aplikasi Watermark Pada Citra Digital Menggunakan Metode Singular Value Decomposition (SVD). Karya Ilmiah – Skripsi (S1). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- AL-HAJ, A., MOHAMMAD, A. and BATA, L. 2011. DWT-Based Audio Watermarking. *The International Arab Journal of Information Technology*, Vol 8, No 3
- BARATA, G. R. 2015. Digitalisasi Industri Musik: Layanan Musik Berlangganan Sebagai Solusi Pembajakan Musik Digital di Indonesia.

- Makalah dan Kertas Kerja. Universitas Indonesia.
- CHANDRA, J., WAHONO, R.S., 2015. Integrasi Discrete Wavelet Transform dan Singular Value Decomposition pada Watermarking Citra untuk Perlindungan Hak Cipta. *Journal of Intelligent Systems*, Vol 1, No 2.
- FIRMANSYAH, A. 2011. Perancangan Aplikasi Digital Audio Watermarking dengan Metode Low Bit Coding. Karya Ilmiah – Skripsi (S1). Universitas Gunadarma.
- GOPAN, V., JOSEPH, M. 2016. SVD Audio Watermarking. *International Journal on Cybernetics & Informatics*. Vol 5, No 2.
- IRIYANTO, S.Y., ZAINI T. M., 2014. Pengolahan Citra Digital. Bandar Lampung: Penerbit Anugrah Utama Raharja(AURA)
- IFPI. 2013, Global Music Report London - United Kingdom. Tersedia melalui: Halaman Website IFPI <https://www.ifpi.org/downloads/dmr2013-full-report_english.pdf> [Diakses 2 Oktober 2018]
- MATLAB 2017a and Statistics Toolbox 8.1, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States* Munir, R. 2004. Steganografi dan Watermarking. Bahan Kuliah. Departemen Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung
- PRATIARSO, A., YULIANA, M., HADI, M. Z. S, BARI, FATCHUL, W, BRAHIM. 2012. Analisa PSNR Pada Teknik Steganografi Menggunakan Spread Spectrum. *The 14th Industrial Electronics Seminar*
- PURWANTO, S., WIRAYUDA, T. A. B., DAYAWATI, R. N., 2011. Analisis dan Implementasi Audio Watermarking dengan Menggabungkan Metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Modified Discrete Cosine Transform (MDCT). Karya Ilmiah – Tugas Akhir (S1). Universitas Telkom.
- RAHMAN, T. M., SHIDDIQI, A. M., STUDIAWAN, H., 2012. Implementasi Kriptografi dan Steganografi pada Media Gambar dengan Menggunakan Algoritma Blowfish dan GifShuffle. Karya Ilmiah – Paper. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- SINGH, P., CHANDHA, R. S., 2013. A Survey of Digital Watermarking Techniques, Applications and Attacks. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, Vol 2, No 9.
- SUSANTO, H., AADIWIJAYA, YULIANTO, F. A., 2008. Implementasi Audio Watermarking Menggunakan Kombinasi Short Time Fourier Transform (STFT) dan Singular Value Decomposition (SVD). Karya Ilmiah – Tugas Akhir (S1). Universitas Telkom.
- TAYAL, N., SAGAR, N. 2016. Audio Watermarking using DWT-SVD-BFO. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, Vol 2, No 9.
- TYAS, L. A. 2011. Watermarking Citra Digital Berbasis DWT-SVD dengan Detektor NonBlind. Karya Ilmiah – Skripsi (S1). Universitas Diponegoro.
- TZANETAKES, G. 2015. *Data Sets GTZAN Genre Collection*. Retrieved from Marsyas (Music Analysis, Retrieval and Synthesis for Audio Signals): Marsyas (*Music Analysis, Retrieval and Synthesis for Audio Signals*).
- VONGPRAPHIP, S., KETCHAM, M. 2009. An Intelligence Audio Watermarking Based on DWT-SVD Using ATS. *WRI Global Congress on Intelligent Systems*, Xiamen, 2009, pp. 150-154
- WIJONARKO, B. 2013. Implementasi Audio Watermarking Menggunakan Metode DWT-SVD dengan Teks Sebagai Watermark. Karya Ilmiah – Skripsi (S1). Institut Pertanian Bogor.