

ANALISIS OPTIMASI DENGAN ALGORITMA GENETIKA PADA AUDIO WATERMARKING BERBASIS *DISCRETE WAVELET TRANSFORM*

ANALYSIS OPTIMIZATION WITH GENETIC ALGORITHM BASED ON AUDIO WATERMARKING *DISCRETE WAVELET TRANSFORM*

I G A M Wibhu Cadu Asrawan¹, Gelar Budiman, S.T., M.T.², Irma Safitri, S.T., M.I.T.³

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

¹wibhu_ca@outlook.com, ², ³

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi terutama pada internet dan multimedia, pengiriman dan penyebaran media digital menjadi lebih mudah dilakukan. Hal ini menyebabkan seringnya terjadi pelanggaran hak cipta, perti mengambil dan memodifikasi data multimedia tersebut secara ilegal. Untuk mengurangi hal tersebut, maka *watermarking* dibutuhkan. Teknik *watermarking* berguna untuk menyembunyikan atau penanaman data/informasi tertentu ke dalam suatu data digital lainnya. Cara penyisipan informasi kedalam data digital dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak terasa keberadaannya dan dapat diekstrak kembali dengan benar. Sistem *watermarking* pada file audio yang biasa digunakan sebagai perlindungan hak cipta. Sistem ini mempunyai tujuan utama untuk menyisipkan sebuah data data berupa bit kedalam file audio berformat *.wav dimana pesan akan diubah terlebih dahulu ke bentuk biner. Sistem *Watermarking* yang akan dibangun menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) untuk proses *embedding* dan *extracting* akan selanjutnya di analisis menggunakan proses algoritma genetika dan untuk penyisipannya menggunakan metode rata - rata. Sebuah sistem *watermarking* pada file audio. Parameter yang akan di optimasikan oleh Algoritma genetika adalah *alpha*, *subband*, dan *level*, parameter tersebut berguna sebagai parameter pengisipan yang terbaik. Dimana untuk proses pengujian kualitas audio menggunakan parameter PEAQ (*Perceptual Evaluation of Audio Quality*), MOS (*Mean Opinion Score*), dan BER (*Bit Error Rate*) diharapkan diperoleh hasil baik dimana rata-rata PEAQ > -1 dan rata-rata MOS > 4 dan untuk pengujian kualitas pesan menggunakan parameter BER sistem mampu menghasilkan nilai BER < 5%.

Kata Kunci : *Watermarking, Discrete Wavelet Transform, Algoritma Genetika*

Abstract

The development of information technology, especially the Internet and multimedia, delivery and deployment of digital media becomes easier to do. This causes frequent copyright violations, like retrieve and modify multimedia data illegally. To mitigate this, the watermarking is needed. Watermarking technique is useful for hiding or planting data / information in a specific other digital data. How to insert the information into digital data is performed such that it does not feel its presence and can be extracted back correctly. Watermarking system in the audio file which is used as a protection of copyright. This system has the main goal to insert the data into the data in the form bit audio file format. *.wav Where the message is first converted into binary form. Watermarking system to be built using the Discrete Wavelet Transform (DWT) for embedding and extracting process will be further analyzed using genetic algorithms and processes for insertion method, - average. A system of watermarking audio file. The parameters to be optimized by the genetic algorithm is *alpha*, *subband*, and *level*, these parameters are useful as parameters pengisipan the best. Where to process audio quality testing using parameter PEAQ (*Perceptual Evaluation of Audio Quality*), MOS (*Mean Opinion Score*), and BER (*Bit Error Rate*) is expected to obtain good results where the average PEAQ > -1 and the average MOS > 4 and for testing the quality of the message using the parameters of the system is able to produce value BER BER < 5%.

Keywords: *Watermarking, Discrete Wavelet Transform, Algoritma Genetika*

1. Pendahuluan

Internet memberikan kemudahan pada manusia untuk mengakses ataupun mendistribusikan berbagai macam jenis informasi, contohnya informasi yang berformat digital (audio, citra/gambar, video). Sangat mudahnya pengelolaan data ke dalam format digital yang dapat dimanipulasi, karena hal tersebut kita sering mendengar pengakuan suatu karya, hal ini sangat merugikan pemilik atau pemegang sah dari suatu karya karena suatu karya sangat susah dibuat. Oleh sebab itu sangat diperlukan suatu cara agar hasil karya seseorang agar tidak dapat dibajak oleh orang lain agar dapat membuktikan kepemilikannya dalam hal melindungi hak cipta, salah satunya dengan cara Teknik *Watermarking*.

Watermarking adalah suatu cara untuk menyembunyian atau penanaman data/informasi tertentu ke dalam suatu data digital lainnya dengan cara menyisipkan data tersebut ke frekuensi tertentu yang tidak didengar oleh manusia.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan implementasi sebuah sistem *Watermarking* pada file audio dengan menyisipkan sebuah *Watermark* berupa data (bit) ke dalam audio yang bisa dijadikan bukti otentik atas kepemilikan sebuah file audio. Sistem *Watermarking* yang akan dilakukan menerapkan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT).

2. Dasar Teori

2.1 Audio Watermarking

Watermarking merupakan suatu bentuk dari *Steganography* (Ilmu yang mempelajari bagaimana menyembunyikan suatu data pada data yang lain), dalam mempelajari teknik bagaimana penyimpanan suatu data (digital) kedalam data *host* digital yang lain (Istilah *host* digunakan untuk data/sinyal digital yang ditumpangi). *Watermarking* (tanda air) ini agak berbeda dengan tanda air pada uang kertas. Tanda air pada uang kertas masih dapat kelihatan oleh mata telanjang manusia (mungkin dalam posisi kertas yang tertentu), tetapi *watermarking* pada media digital disini dimaksudkan tak akan dirasakan kehadirannya oleh manusia tanpa alat bantu mesin pengolah digital seperti komputer, dan sejenisnya.

Steganography berbeda dengan *cryptography*, letak perbedaannya adalah hasil keluarannya. Hasil dari *cryptography* biasanya berupa data yang berbeda dari bentuk aslinya dan biasanya datanya seolah-olah berantakan (tetapi dapat dikembalikan ke bentuk semula) sedangkan hasil keluaran dari *steganography* ini memiliki bentuk persepsi yang sama dengan bentuk aslinya, tentunya persepsi disini oleh indera manusia, tetapi tidak oleh computer atau perangkat pengolah digital lainnya. *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.

Jadi *watermarking* merupakan suatu cara untuk menyembunyian atau penanaman data/informasi tertentu (baik hanya berupa catatan umum maupun rahasia) ke dalam suatu data digital lainnya, tetapi tidak diketahui kehadirannya oleh indera manusia (indera penglihatan atau indera pendengaran), dan mampu menghadapi proses-proses pengolahan sinyal digital sampai pada tahap tertentu[3].

Watermarking sebagai suatu teknik menyembunyian data pada data digital lain dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan seperti [3]:

1. *Tamper-proofing*; *watermarking* digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi atau alat indikator yang menunjukkan data digital (*host*) telah mengalami perubahan dari aslinya
2. *Feature location*; menggunakan metoda *watermarking* sebagai alat untuk identifikasi isi dari data digital pada lokasi-lokasi tertentu, seperti contohnya penamaan objek tertentu dari beberapa objek yang lain pada suatu citra digital.
3. *Annotation/caption*; *watermarking* hanya digunakan sebagai keterangan tentang data digital itu sendiri.
4. *Copyright-Labeling*; *watermarking* dapat digunakan sebagai metoda untuk menyembunyikan label hak cipta pada data digital sebagai bukti otentik kepemilikan karya digital tersebut.

Semua aplikasi dari *watermarking* tersebut, menuntut hal-hal (parameter) yang berbeda dari penerapan metoda *watermarking*. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam penerapan metoda *watermarking* :

1. Jumlah data (*bitrate*) yang akan disembunyikan.
2. Ketahanan (*robustness*) terhadap proses pengolahan sinyal
3. *Invisible* (tidak tampak) oleh indera manusia

2.1. Audio Watermarking

Audio *Watermarking* adalah *watermarking* yang dilakukan pada media audio. *Watermark* yang disisipkan juga merupakan data yang dapat berupa teks, image, audio, atau video. Tentunya saja ukuran *watermark* yang disisipkan harus disesuaikan dengan ukuran *host*-nya. Proses melakukan *watermarking* audio sebenarnya tidak jauh berbeda dengan proses *watermarking* digital lainnya. Namun perlu diperhatikan pengaruhnya pada sistem pendengaran manusia (HAS) jangan sampai penyisipan *watermark* dapat dideteksi telinga manusia oleh karenanya untuk audio *watermarking* biasanya ditambahkan suatu pemodelan *psychoacoustic* untuk memenuhi syarat tersebut. Ada beberapa metode yang pada audio *watermarking* seperti [3] :

1. *LSB Coding*; Prinsip dasar metode ini adalah dengan mengganti bit terakhir dari data sample audio dengan bit-bit penyisip. Untuk melakukan penyisipan pesan ke dalam audio, maka audio dan pesan penyisip harus diubah menjadi biner
2. *Echo Coding*; Metoda ini menggunakan echo pada data audio untuk menyembunyikan label watermark. Karena Manusia sampai batas tertentu tidak dapat merasakan adanya echo pada sinyal audio yang didengarkan

3. *Phase Coding*; Metoda ini mensubstitusikan fasa dari segmen audio awal dengan fasa referensi yang merepresentasikan label watermark. Metoda ini memanfaatkan kelemahan sistem pendengaran manusia untuk merasakan fasa absolut.
4. *Direct Sequence dan Frequency Hopped Spread Spectrum*; Teknik ini mengadopsi teknik spread spectrum yang digunakan dalam telekomunikasi dalam lingkungan *bernoise*
5. *Frequency Masking*; Metoda ini menggunakan kelemahan telinga manusia yang tidak dapat mendengarkan frekuensi-frekuensi tertentu pada kondisi tertentu. Metoda ini memerlukan komputasi yang paling besar dibandingkan metoda-metoda sebelumnya.

2.2. Discrete Wavelet Transform

Discrete Wavelet Transform (DWT) adalah salah satu metode yang digunakan dalam pengolahan citra digital. DWT dapat digunakan untuk transformasi citra dan kompresi citra. Selain untuk pengolahan citra (gambar), metode DWT dapat juga diterapkan pada bidang steganografi. *Discrete Wavelet Transform* (DWT) telah menerima sejumlah besar kepentingan dalam aplikasi pemrosesan sinyal penting, termasuk audio dan gambar *watermarking* [10- 12]. Transformasi *wavelet* dapat digunakan untuk menguraikan sinyal menjadi dua bagian: frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Frekuensi rendah bagian didekomposisi lagi menjadi dua bagian frekuensi tinggi dan rendah. Jumlah dekomposisi dalam proses ini biasanya ditentukan oleh aplikasi dan panjang sinyal asli. Data yang diperoleh dari dekomposisi di atas disebut koefisien DWT. Selain itu, sinyal asli dapat direkonstruksi dari koefisien ini. Rekonstruksi ini disebut DWT terbalik. Untuk informasi lebih lanjut tentang Wavelet transform, lihat [13].

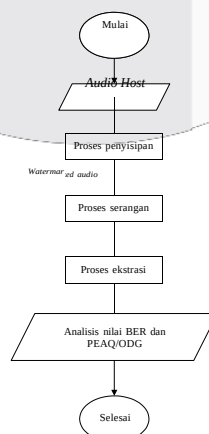
2.3. Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan teknik pencarian dan optimasi yang terinspirasi oleh prinsip dari genetika dan seleksi alam (teori evolusi Darwin). Algoritma ini digunakan untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk masalah optimasi dari satu variabel atau multi variabel. Berbeda dengan teknik pencarian konvensional, algoritma genetika bermula dari himpunan solusi yang dihasilkan secara acak. Himpunan ini disebut populasi. Sedangkan setiap individu dalam populasi disebut kromosom yang merupakan representasi dari solusi. Kromosom-kromosom berevolusi dalam suatu proses iterasi yang berkelanjutan yang disebut generasi. Pada setiap generasi, kromosom dievaluasi berdasarkan suatu fungsi evaluasi [8]. Setelah beberapa generasi maka algoritma genetika akan konvergen pada kromosom terbaik, yang diharapkan merupakan solusi optimal [8]. Sebelum pertama kali, sebelum algoritma genetika dijalankan, maka perlu didefinisikan fungsi *fitness* sebagai masalah yang ingin dioptimalkan. Jika nilai *fitness* semakin besar, maka sistem yang dihasilkan semakin baik. fungsi *fitness* ditentukan dengan metode heuristik.

3. Perancangan sistem

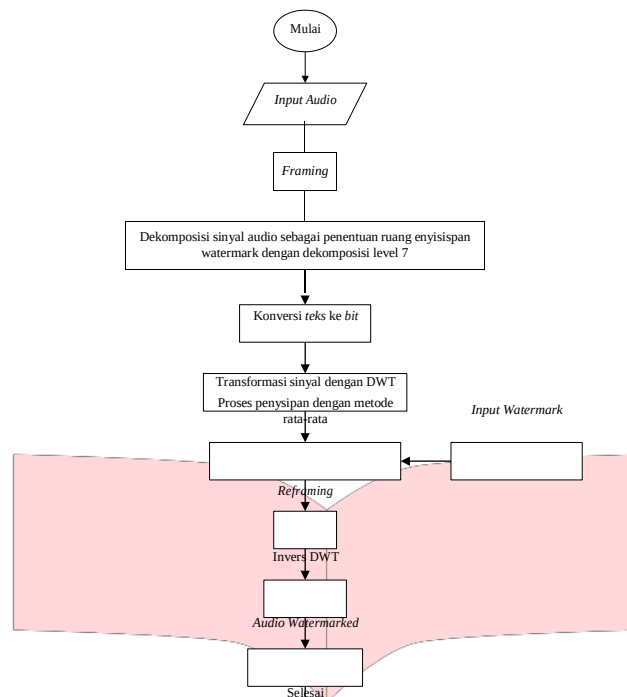
3.1. Model sistem

Dalam model sistem ini dirancang sebuah sistem *audio watermarking* dengan data sisipannya sebuah teks. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, tentunya diperlukan sebuah model yang terarah dan sistematis. Dalam *audio watermarking* terdapat dua tahapan, yakni *embedding process* dan *extracting process*. *Audio watermarking* yang akan dirancang ialah dengan menggunakan basis DWT dan dengan selanjutnya di analisis dengan metode Algoritma Genetika. Maka skema *audio watermarking* yang terbentuk adalah seperti diagram alir di bawah ini.



Gambar 3.1 Model keseluruhan proses *audio watermarking*

3.2. Proses Penyisipan (*Embedding*)



Gambar 3.1 Model keseluruhan proses audio watermarking

Proses penyisipan adalah suatu proses penggabungan data *watermark* dengan audio *host*, mulai dari proses pembacaan audio *host* dan data *watermark* sampai terbentuk audio terwatermark. Proses penyisipan di tugas akhir ini menggunakan metode rata – rata yang dimana seperti rumus berikut :

(3.1)

Yang dimana jika *frame bit 1* akan ditambah *alpha* dan jika *frame bit 0* akan dikurang *alpha*. Berikut penjelasan lebih tentang proses penyisipan sebagai berikut:

A. Framing

Pada proses ini audio *host* yang semula berbentuk matriks satu kolom akan disegmentasi ke dalam bentuk *frame* dengan 50% *overlap*, maksud dari 50% *overlap* ini adalah *frame* terbaru yang terbentuk akan memuat setengah dari isi *frame* sebelumnya. Terdapat empat macam panjang *frame* yang dipakai pada penelitian ini yaitu :

Tabel 3.1 Variasi Panjang *Frame* yang Digunakan Pada Penelitian

Variasi	Panjang <i>Frame</i>
1	512
2	1024
3	2048
4	4096

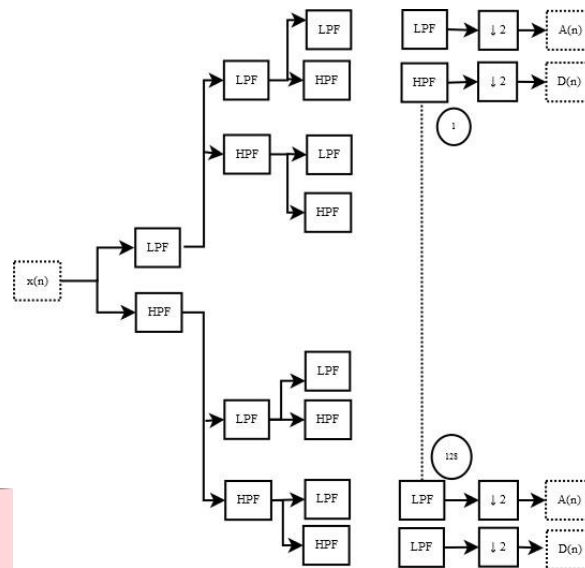
Penggunaan variasi panjang *frame* ini bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas audio setelah disisipkan.

B. Proses *Discrete Wavelet Transform* sebagai berikut:

1. Sinyal audio $x(n)$ yang sudah terdeteksi akan dipisahkan antara frekuensi tinggi dan frekuensi rendah.
2. Dekomposisi *wavelet* adalah pada *level* pertama sinyal audio $x(n)$ melewati *high pass filter* dan *low pass filter* dan akan dilakukan sebanyak n *level* . Dekomposisi sinyal audio yang akan menghasilkan beberapa *sub-band* yang akan membantu menentukan *sub-band* yang paling layak untuk disisipkan informasi. Persamaan proses dekomposisi dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$Y_{\text{high}}[k] = \sum_n x[n]h[2k - n] \quad (3.2)$$

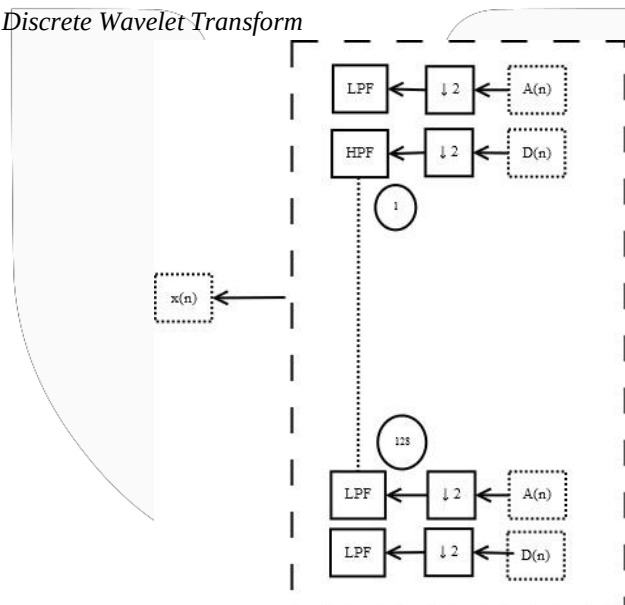
$$Y_{\text{low}}[k] = \sum_n x[n]g[2k - n] \quad (3.3)$$



Gambar 3.3 Level 7 dekomposisi DWT
A(n) : approximate coefficient *D(n) : detailed coefficient*

3. Penyisipan informasi akan dilakukan pada sinyal *low sub-band*, *high sub-band*, dan kedua *sub-band*.
- C. *Refreaming*
 Tahapan ini ialah menyatukan *frame-frame* dari *parallel* ke *serial* yang telah dilakukan penyisipan sehingga menjadi audio terwatermark dalam format *.wav.

D. Proses *Invers Discrete Wavelet Transform*



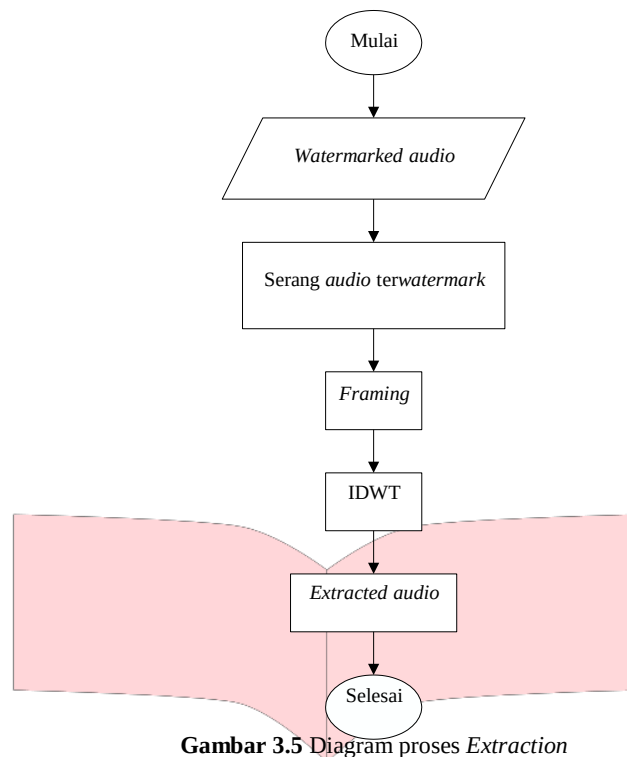
Gambar 3.4 Proses IDWT

Setelah menyatukan *frame-frame* dari *parallel* ke *serial* selanjutnya dilakukan proses IDWT, dimana proses tersebut berguna menyatukan *wavelet* yang terdekomposisi menjadi satu *wavelet* melalui proses rekonstruksi, sehingga didapatkan :

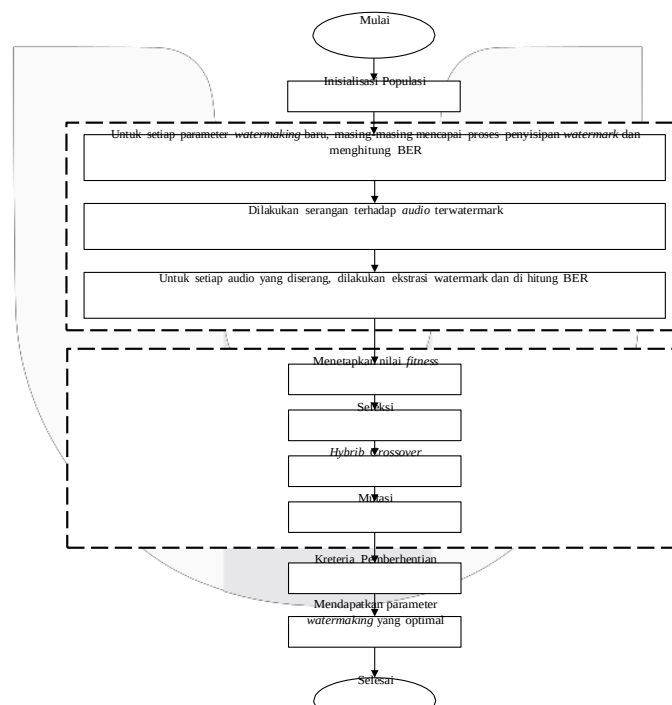
$$x[n] = \sum_k (y_{\text{high}}[k]h[-n+2k] - y_{\text{low}}[k]g[-n+2k]) \quad (3.4)$$

3.3. Proses Ekstraksi (*Exctration*)

Sebelum diekstraksi audio diserang terlebih dahulu dengan 4 jenis serangan yaitu LPF, BPF, *noise* dan *resampling* dengan parameter yang berbeda-beda yang akan dijelaskan di bab selanjutnya. Dalam proses ekstraksi ini hampir sama dengan proses penyisipan, perbedaannya adalah watermark audio akan dipisahkan dari data yang disisipkan. Setelah proses ekstraksi akan di cari nilai BER dan PEAQ di setiap *file*. Berikut adalah diagram alir dari proses ekstraksi :

Gambar 3.5 Diagram proses *Extraction*

3.4. Skema dari Optimasi Algoritma Genetika



Gambar 3.6 Diagram alir Optimasi Algoritma Genetika

3.4.1 Inisiasi Populasi dan Input Parameter

Inisialisasi populasi adalah tahap pembentukan kromosom yang nantinya akan diolah dalam algoritma genetika. Untuk dapat membentuk sebuah kromosom perlu didefinisikan beberapa nilai, antara lain jumlah generasi dan individu yang akan dibangkitkan, probabilitas mutasi, dan probabilitas *crossover*. Selain itu perlu juga diketahui parameter atau variabel yang ingin dioptimasi. Pada tugas akhir ini terdapat empat jenis parameter yang ingin dioptimasi yaitu ukuran *frame*, subband dan α . Pengkodean kromosom dilakukan menggunakan *binary encoding* dengan panjang kromosom yang ditentukan adalah 14. Desain kromosom untuk tiap parameter ditentukan sebagai berikut :

Tabel 3.2 Desain Kromosom untuk Tiap Parameter

Urutan Gen dalam Kromosom	Parameter Optimasi	Nilai
Gen 1 – 2	Ukuran <i>frame</i>	512, 1024, 2048, 4096
Gen 3 – 10	<i>Alpha</i> koefisien penyisipan	Maksimum 256 nilai tergantung ukuran <i>frame</i> DWT
Gen 11	<i>Subband</i>	<i>Low</i> dan <i>High</i>
Gen 11 – 14	<i>Level</i> DWT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Jika saat sebelum optimasi proses penyisipan dengan rata - rata dilakukan dengan *threshold* dan posisi yang tetap, namun pada saat optimasi nilai *threshold* dan posisi akan dibuat berubah sesuai rentang masing-masing. Posisi penyisipan merepresentasikan indeks koefisien DWT yang akan disisipkan pesan, dimana jumlah maksimum dari posisi penyisipan adalah sebanyak 256 nilai. Maka jika ukuran *frame* yang digunakan adalah 1024, dan ukuran *frame* DWT adalah 512, posisi penyisipan akan dimulai dari indeks ke-1 dan posisi selanjutnya akan selalu bertambah 2 dari nilai sebelumnya. Pemilihan parameter ini diharapkan akan menurunkan nilai BER setelah audio diserang.

3.4.2 Proses Penyisipan dan Pengukuran Lagu

Selanjutnya dilakukan proses penyisipan menggunakan parameter baru yang terbentuk dari proses sebelumnya. Proses penyisipan dilakukan sesuai penjelasan pada subbab 3.2. Hasil *watermark audio* yang telah terbentuk kemudian dinilai kualitasnya dengan menghitung nilai ODG.

3.4.3 Uji Serangan

Uji serangan akan dilakukan pada *watermark audio* baru yang telah terbentuk. Uji serangan yang akan dilakukan pada proses optimasi adalah uji serangan yang menghasilkan BER tidak 0 pada pesan. Jenis-jenis serangan yang dilakukan yaitu serangan LPF, BPF, *noise*, dan *Resampling*.

3.4.4 Ekstraksi

Setelah mendapat uji serangan, pesan rahasia yang terdapat pada *watermarking* akan diekstraksi dengan proses yang sama seperti pada subbab 3.2.2. Pesan hasil ekstraksi kemudian dinilai kualitasnya dengan menghitung nilai BER.

3.4.5 Nilai Fitness

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan nilai *fitness* untuk mengukur performansi kromosom yang telah mengalami berbagai uji serangan. Proses optimasi akan berhenti ketika suatu generasi telah mencapai nilai *fitness* yang maksimal. Pada tugas akhir ini nilai *fitness* dihitung berdasarkan nilai ODG dan BER, dengan nilai maksimum adalah 1. Rumus *fitness* yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$FF = 0.5 \times (1 - \overline{BER}) + 0.5 \times \left(\frac{ODG}{4} \right) \quad (3.5)$$

Nilai BER dan ODG yang dipakai pada persamaan di atas adalah nilai BER dan ODG yang telah dirata-ratakan. Pada persamaan tersebut terlihat bahwa ODG memiliki bobot yang lebih besar ketimbang BER yaitu 1 : 1, hal ini untuk mendapatkan tingkat *imperceptibility* dan *robustness* yang seimbang.

3.4.6 Proses Seleksi, Pindah Silang dan Mutasi

Proses seleksi yang dimaksud adalah memilih dua buah kromosom yang akan menjadi induk atau orang tua yang nantinya disilangkan untuk menghasilkan anak (kromosom) baru. Proses ini dilakukan dengan cara mengurutkan nilai *fitness* yang telah didapat kemudian diambil dua buah kromosom yang memiliki nilai *fitness* tertinggi. Dua buah kromosom yang telah terpilih tersebut kemudian disilangkan satu sama lain, dan dimutasi seperti pada penjelasan subbab sebelumnya.

3.4.7 Kriteria Terminasi

Setelah dilakukan proses mutasi, akan dilakukan pengecekan kriteria terminasi yaitu ketika kromosom tersebut mencapai nilai *fitness* tertinggi sehingga dihasilkan parameter penyisipan yang optimal. Jika kriteria terminasi belum tercapai maka sistem akan melakukan iterasi dengan menginputkan parameter baru dan mengulang proses yang telah ada. Setelah kriteria terminasi tercapai maka nilai yang optimal tersebut akan disimpan. Setelah dilakukan penyimpanan nilai parameter yang optimal, maka akan dilakukan proses penyisipan berdasarkan parameter-parameter tersebut. Dengan demikian *watermarking final* telah dihasilkan dan proses selesai.

4. Pengujian Sistem dan Analisis

4.1. Pengujian dan Analisa Kulit Watermarking sebelum Proses Optimasi

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian *watermarking* dengan parameter yang ditentukan berdasarkan hasil percobaan. Parameter yang akan dianalisis antara lain ukuran *frame*, subband, dan level.

4.1.1 Analisis pengaruh Ukuran *Frame* dan *Subband* terhadap ODG dan BER

Dengan parameter tetap sebagai berikut :

- Threshold = 0.001
- Subband = 1 dan 2 (disisipkan di frekuensi *low* dan *high*)

Hasil rata-rata pengukuran ODG dan BER dari lima audio yang diuji coba adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Pengaruh panjang *frame* terhadap BER dan ODG/PEAQ pada subband 1

Ukuran Frame	Country.wav		Jazz.wav		Orchestra.wav		Reggae.wav		Rock.wav	
	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER
512	-0,18628	0	-2,1566	0	-2,637	0	-1,2432	0	-3,0213	0
1024	-0,09062	0	-1,4507	0	-1,9118	0	-0,22194	0	-1,5572	0
2048	-0,09068	0	-1,0572	0	-1,6864	0	-0,07823	0	-0,8093	0
4096	-0,08763	0	-0,49491	0	-1,6672	0	-0,14887	0	-0,4953	0

Tabel 4.2 Pengaruh panjang *frame* terhadap BER dan ODG/PEAQ pada subband 2

Ukuran Frame	Country.wav		Jazz.wav		Orchestra.wav		Reggae.wav		Rock.wav	
	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER
512	-0,07919	0	-0,05149	0	-2,4919	0	-0,0503	0	-0,1393	0
1024	-0,07744	0	-0,04027	0	-2,5008	0	-0,04444	0	-0,13994	0
2048	-0,07316	0	-0,03109	0	-2,49	0	-0,04168	0	-0,12275	0
4096	-0,07187	0	-0,02511	0	-2,4978	0	-0,03851	0	-0,11788	0

Dari tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilihat bahwa BER bernilai 0 konstan terhadap semua ukuran frame dan di subband *low* dan subband *high*, dapat disimpulkan bahwa pesan dapat diekstrak dengan sempurna tiap audio dan tiap semua ukuran jenis. Namun, untuk ODG nilainya sangat baik, dan terdapat kecenderungan bahwa semakin besar ukuran *frame* maka nilai ODG semakin baik.

4.1.2 Analisis Pengaruh Dekomposisi *Level* terhadap ODG dan BER

Dekomposisi *level* merupakan hal yang mempengaruhi kualitas audio. Pada pengujian ini digunakan tujuh *level* yang berbeda, ukuran *frame* berbeda dan subband *low* dan *high* yang didapat dari langkah sebelumnya. Pengaruh nilai dekomposisi terhadap rata-rata ODG dan BER pada subband *low* dan subband *high* dari lima lagu yang diujikan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Pengaruh *level* dekomposisi subband low

Level	Country.wav		Jazz.wav		Orchestra.wav		Reggae.wav		Rock.wav	
	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER
1	-0,1138	0	-1,28985	0	-1,9756	0	-0,42306	0	-1,47078	0
2	-3,94813	0	-3,96345	0	-3,93535	0	-3,95793	0	-4,0434	0
3	-4,09113	0	-4,06255	0	-4,08143	0	-4,09598	0	-4,11238	0
4	-4,11158	0	-4,09285	0	-4,11195	0	-4,11198	0	-4,12003	0
5	-4,10128	0	-4,10235	0	-4,10495	0	-4,1154	0	-4,1223	0
6	-4,10413	0	-4,10795	0	-4,08668	0	-4,11323	0	-4,12263	0
7	-4,10258	0	-4,11578	0	-4,0821	0	-4,11488	0	-4,12403	0

Tabel 4.4 Pengaruh *level* dekomposisi subband high

Level	Country.wav		Jazz.wav		Orchestra.wav		Reggae.wav		Rock.wav	
	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER	ODG	BER
1	-0,07541	0	-0,03699	0	-2,49513	0	-0,04373	0	-0,12997	0
2	-3,94755	0	-3,88543	0	-3,93423	0	-3,89628	0	-3,87843	0
3	-4,09163	0	-4,04685	0	-4,08158	0	-4,09318	0	-4,10218	0
4	-4,11248	0	-4,0886	0	-4,11215	0	-4,11163	0	-4,11725	0
5	-4,1019	0	-4,10083	0	-4,105	0	-4,11515	0	-4,121	0
6	-4,10498	0	-4,10815	0	-4,08703	0	-4,11303	0	-4,12215	0
7	-4,10325	0	-4,11663	0	-4,08253	0	-4,11523	0	-4,12403	0

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa BER bernilai 0 konstan terhadap semua ukuran frame dan di *level* dekomposisi, dapat disimpulkan bahwa pesan dapat diekstrak dengan sempurna tiap audio dan tiap semua *level* dekomposisi. Namun, untuk ODG nilainya buruk, dan terdapat kecenderungan bahwa semakin besar ukuran *level* dekomposisi maka nilai ODG semakin buruk.

4.1.3 Analisis Ketahanan Audio Watermark terhadap Serangan sebelum di Optimasi

Dalam pengujian ini akan diberikan 4 serangan diantaranya adalah LPF, BPF, Noise dan Resampling dan parameter yang akan digunakan pada audio watermarking adalah sebagai berikut :

Parameter audio watermarking yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Level yang digunakan adalah level 1.
2. Subband di frekuensi rendah atau *low*.
3. Alpha = 0.001
4. Threshold = 0.001

Tabel 4.5 Analisis Serangan terhadap BER

Serangan	Parameter	Nama File					Rata-rata
		Country.wav	Jazz.wav	Orchestra.wav	Reggae.wav	Rock.wav	
		BER	BER	BER	BER	BER	
LPF	4 kHz	0	0	0	0	0	0
	6 kHz	0	0	0	0	0	0
	10 kHz	0	0	0	0	0	0
BPF	100 Hz - 20 kHz	0,5	0,39583	0,58333	0,35417	0,47917	0,4625
	1 kHz - 10 kHz	0,45833	0,5625	0,47917	0,47917	0,60417	0,51667
	3 kHz - 6 kHz	0,5625	0,58333	0,58333	0,58333	0,58333	0,57917
Noise	Gain 10	0,4375	0,5	0,3125	0,4375	0,45833	0,42917
	Gain 30	0,5625	0,4375	0,3125	0,5	0,5	0,4625
	Gain 60	0,45833	0,41667	0,52083	0,4375	0,39583	0,44583
Resampling	1/2	0,41667	0,41667	0,41667	0,41667	0,41667	0,41667
	1/4	0,60417	0,60417	0,60417	0,60417	0,60417	0,60417
	1/8	0,45833	0,45833	0,45833	0,45833	0,45833	0,45833

Dilihat dari tabel diatas bahwa *file watermark* diatas tahan terhadap serangan LPF tetapi tidak tahan terhadap serangan BPF, Noise dan Resampling. Karena BPF, Noise dan Resampling adalah jenis serangan yang memberikan pengaruh yang sangat besar dan agar mendapatkan hasil BER yang baik langkah selanjutnya di optimasi dengan algoritma genetika.

4.2. Optimasi Audio Watermarking dengan Algoritma Genetika

Algoritma genetika dirancang untuk menyelesaikan permasalahan dalam jumlah besar dan kompleks, dalam penelitian ini permasalahan tersebut muncul ketika harus menentukan kombinasi parameter yang tepat untuk penyisipan. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian 3.2.3.1, terdapat empat parameter penyisipan yang akan dioptimasi antara lain ukuran *frame* (*nframe*), *subband*, dan *alpha*. Nilai untuk masing-masing parameter ditentukan sesuai tabel 3.1. Algoritma genetika dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

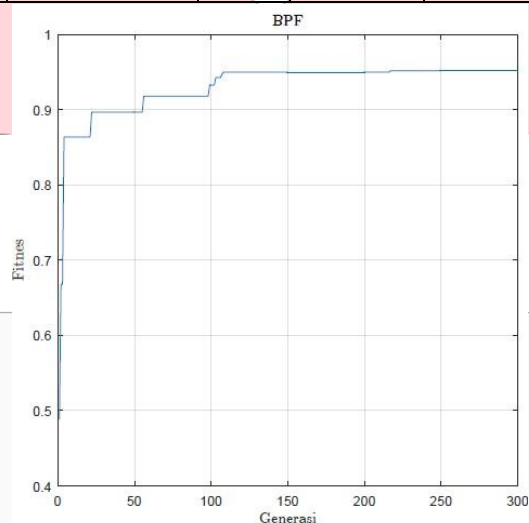
- Jumlah generasi = 300
- Jumlah individu = 20
- Probabilitas *crossover* = 0.8
- Probabilitas mutasi = 0.5
- Threshold = 0.001

Untuk mendapatkan parameter optimal, uji coba dilakukan dengan 3 jenis serangan yaitu BPF, Noise dan Resampling dengan 1 jenis audio yaitu Reggae.wav. BPF, Noise dan Resampling dipilih karena merupakan

jenis serangan yang sangat umum terjadi di dunia nyata sehingga dijadikan *sample* untuk pengambilan parameter optimal pada algoritma genetika, sedangkan lagu Reggae.wav merupakan audio yang memiliki BER terburuk pada serangan tersebut. Hasil yang didapatkan dari proses optimasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Optimasi algoritma genetika pada serangan BPF

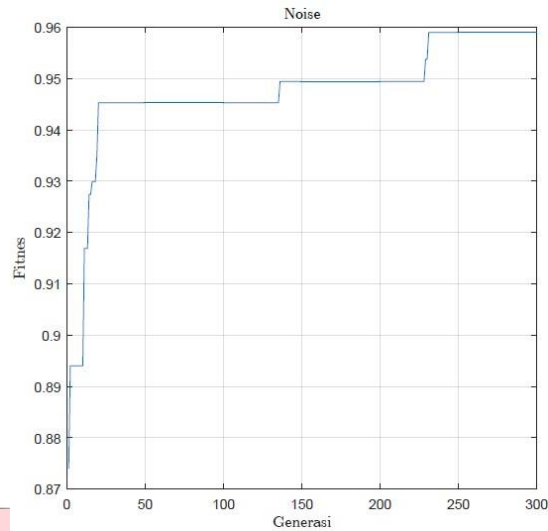
Reggae.wav							
Generasi	Fitness	Ukuran Frame	Level	Alpha	Subband	ODG	BER
1	0,488088	2048	2	0,060166	2	-4,0953	0
2	0,667755	2048	1	0,060166	1	-2,4705	0,1875
4	0,863535	2048	1	0,010166	1	-0,50838	0,58333
22	0,896553	2048	1	0,003916	1	-0,24424	0,58333
56	0,917652	2048	1	0,000791	1	-0,07545	0,58333
99	0,932629	2048	1	0,000791	2	-0,03897	0,5
103	0,942471	512	1	0,000791	2	-0,04356	0,41667
107	0,946962	512	1	0,002354	2	-0,09097	0,33333
108	0,949648	512	1	0,001573	2	-0,06948	0,33333
217	0,951559	512	1	0,003135	2	-0,1167	0,27083



Gambar 4.1 Hasil optimasi algoritma genetika pada serangan BPF

Tabel 4.7 Optimasi algoritma genetika pada serangan noise

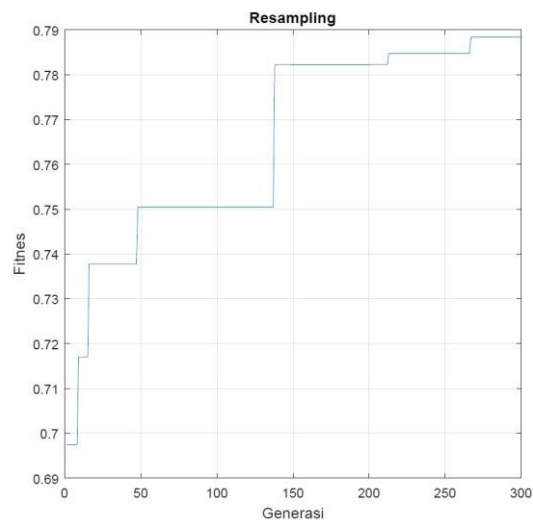
Reggae.wav							
Generasi	Fitness	Ukuran Frame	Level	Alpha	Subband	ODG	BER
1	0,873952	2048	1	0,010166	1	-0,50838	0,5
2	0,893995	2048	1	0,010166	2	-0,36887	0,47917
11	0,916899	2048	1	0,007041	2	-0,20648	0,45833
14	0,927421	2048	1	0,000791	2	-0,03897	0,54167
16	0,92992	2048	1	0,007041	2	-0,20648	0,35417
19	0,93488	2048	1	0,003916	2	-0,10429	0,41667
20	0,945297	2048	1	0,003916	2	-0,10429	0,33333
136	0,949437	4096	1	0,003916	2	-0,092	0,3125
229	0,953762	4096	1	0,000791	2	-0,03657	0,33333
231	0,95897	4096	1	0,000791	2	-0,03657	0,29167



Gambar 4.2 Hasil optimasi algoritma genetika pada serangan *Noise*

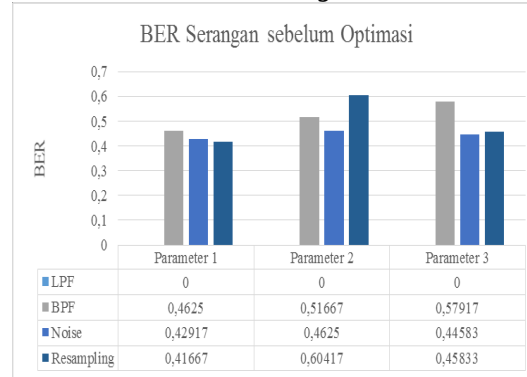
Tabel 4.8 Optimasi algoritma genetika pada serangan *Resampling*
Reggae.wav

Generasi	Fitness	Ukuran Frame	Level	Alpha	Subband	ODG	BER
1	0,697461	4096	1	0,020323	1	-0,58698	0,45833
9	0,716994	2048	1	0,020323	1	-0,76405	0,375
16	0,737756	2048	1	0,014073	1	-0,59795	0,375
48	0,750481	2048	1	0,013291	1	-0,57948	0,35417
138	0,782236	2048	1	0,000791	1	-0,07545	0,41667
213	0,784717	2048	1	0,002354	1	-0,13893	0,39583
267	0,788372	2048	1	0,003135	1	-0,19302	0,375

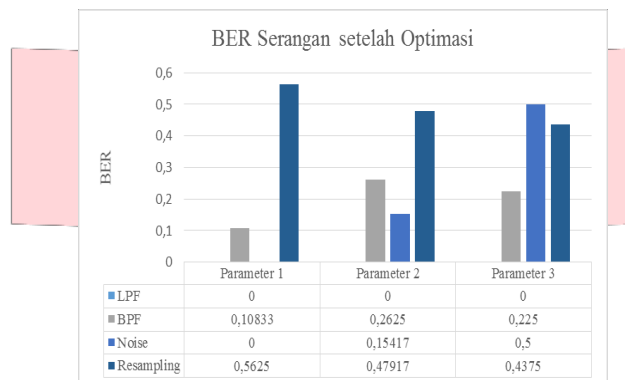


Gambar 4.3 Hasil optimasi algoritma genetika pada serangan *Resampling*

4.3. Analisis perbandingan ketahanan *Audio Watermarking* sebelum dan setelah di Optimasi



Gambar 4.4 BER Serangan sebelum Optimasi



Gambar 4.5 BER Serangan setelah di Optimasi

Untuk parameter yang akan dirubah adalah sebagai berikut :

1. Pada LPF frekuensi *cut-off* yang digunakan adalah 4KHz, 6KHz dan 10 KHz.
2. Pada BPF frekuensi *cut-off* berada pada rentang frekuensi 100 Hz - 20 kHz, 1 kHz - 10 kHz dan 3 kHz - 6 kHz.
3. Pada pengujian serangan *noise* yang ditambahkan adalah berupa *pink noise* dan *white noise* dengan power yang berbeda, pada 10, 30 dan 60.
4. Pada *resampling* dilakukan dengan mengubah *sample rate* dengan penyekalaan menjadi $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, dan $\frac{1}{8}$ kali lipat dari *sample rate* aslinya.

Dari kedua grafik di atas dapat terlihat perbandingan performansi sistem terhadap serangan menjadi jauh lebih baik setelah optimasi. Jika sebelum optimasi sistem hanya tahan terhadap serangan LPF, maka setelah optimasi sistem menghasilkan ketahanan yang lebih baik terhadap dua serangan yaitu BPF, *noise* dan *resampling*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa algoritma genetika mampu mengoptimasi parameter penyisipan dalam sistem yang dirancang pada tugas akhir ini.

4.4. Analisis Ketahanan Watermark setelah di Optimasi

Tabel 4.9 Analisis Serangan teroptimasi terhadap BER

Serangan	Parameter	Nama File					Rata-rata
		Country.wav	Jazz.wav	Orchestra.wav	Reggae.wav	Rock.wav	
		BER	BER	BER	BER	BER	
LPF	4 kHz	0	0	0	0	0	0
	6 kHz	0	0	0	0	0	0
	10 kHz	0	0	0	0	0	0
BPF	100 Hz - 20 kHz	0,25	0,083333	0,125	0,020833	0,0625	0,10833
	1 kHz - 10 kHz	0,27083	0,14583	0,35417	0,27083	0,27083	0,2625
	3 kHz - 6 kHz	0,35417	0,083333	0,25	0,22917	0,20833	0,225
Noise	Gain 10	0	0	0	0	0	0
	Gain 30	0,20833	0,0625	0,10417	0,083333	0,3125	0,15417
	Gain 60	0,52083	0,39583	0,39583	0,58333	0,60417	0,5
Resampling	½	0,5625	0,5625	0,5625	0,5625	0,5625	0,5625
	1/4	0,47917	0,47917	0,47917	0,47917	0,47917	0,47917
	1/8	0,4375	0,4375	0,4375	0,4375	0,4375	0,4375

Tabel diatas diperoleh dari hasil pengujian audio watermarking dengan parameter yang sudah dioptimasi, antara lain :

- $N_{frame} = 512$
- Subband yang digunakan adalah frekuensi tinggi
- Level dekomposisinya adalah di level 1
- $Threshold = 0.001$
- $Alpha = 0,005$

Dilihat dari tabel diatas bahwa *file watermark* diatas tahan terhadap serangan LPF tetapi tidak tahan terhadap serangan BPF, *Noise* dan *Resampling*. Setelah teroptimasi dengan algoritma genetika pada serangan BPF, *noise* dan *Resampling* BER mengalami penurunan yang cukup baik.

4.5. Pengujian Mean Opinion Score (MOS)

MOS merupakan penilaian kualitas *watermark audio* secara subjektif. Pengujian *Mean Opinion Score* (MOS). Uji MOS dilakukan dengan cara meminta responden untuk membandingkan kualitas audio asli dengan audio yang telah tersisipi pesan.

Kriteria penilaian MOS yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.10 Kriteria Penilaian *Mean Opinion Score*

Skor	Kualitas Audio	Deskripsi
5	Amat Baik	Kualitas <i>watermark audio</i> sangat baik, terdengar menyerupai Audio Asli
4	Baik	Terdapat keganjilan pada <i>watermark audio</i> , namun tidak mengganggu
3	Cukup Baik	Terdapat keganjilan pada <i>watermark audio</i> , dan sedikit mengganggu
2	Kurang	Terdapat keganjilan yang sangat mengganggu namun <i>watermark audio</i> masih dapat terdengar
1	Buruk	Terdapat keganjilan yang sangat mengganggu dan <i>watermark audio</i> tidak dapat terdengar

Jumlah responden pada pengujian ini adalah sebanyak 30 orang, dengan 5 jenis audio berdurasi 30 detik. *Watermark audio* yang digunakan adalah *watermark audio* yang telah menggunakan parameter optimal. Hasil yang diperoleh dari pengukuran MOS adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11 Rata-rata Hasil Pengukuran SDG Terhadap Kualitas Audio

Audio	SDG (MOS)
Country.wav	4,071428571
Jazz.wav	4,0714286
Orchestra.wav	4,071428571
Reggae.wav	3,92857143
Rock.wav	4,1666667

Pada tabel di atas terlihat bahwa terdapat 4 audio yang dinilai memiliki kualitas baik dan hanya satu audio yang tergolong cukup baik. Dapat dikatakan bahwa sistem ini memiliki kualitas cukup baik dari segi penilaian subjektif, yaitu $MOS \geq 3,92$.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi hasil yang didapatkan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Implementasi *watermarking* audio berbasis DWT pada tugas akhir ini mampu menghasilkan kualitas *watermarking audio* yang baik, dimana nilai $BER = 0$, $-0,08763 \geq ODG \geq -0,11788$. Namun untuk ODG di perubahan parameter dekomposisi *level* yang cukup baik di ≤ 2 .
2. Algoritma genetika mampu menentukan kombinasi yang tepat dan optimal dari beberapa parameter penyisipan sehingga dihasilkan tingkat ketahanan sistem yang lebih baik. Parameter optimal yang didapatkan berupa $nframe = 512$, $\alpha = 0,05$, $subband = 2$ (*high*) dan $level = 1$.
3. Sebelum optimasi sistem hanya tahan terhadap serangan LPF. Sedangkan setelah optimasi sistem sangat tahan terhadap serangan BPF, *noise* dan *resampling* dimana *noise* dengan intensitas ≤ 10 dB dan untuk *resampling* penyekalaan frekuensi di $\leq 1/4$.
4. Hasil penilaian subjektif terhadap sistem menghasilkan nilai yang tergolong cukup baik dimana $3.92 \geq MOS \geq 4.07$.

5.2 Saran

Tugas akhir ini dilakukan untuk menganalisis optimasi *watermarking* audio berbasis DWT menggunakan algoritma genetika. Namun pada hasilnya, metode ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya penulis menyarankan:

1. Strategi penyisipan pesan bisa dilakukan dengan cara lain seperti misalnya *spread spectrum*, *phase coding*, *psychoacoustic*, *least significant bit* dan *echo hiding*.
2. Implementasi pembuatan algoritma dalam MATLAB sebaiknya dilakukan dengan menggunakan perangkat PC yang memadai agar proses berjalan lebih cepat.
3. Untuk penelitian selanjutnya, media *host* dan pesan yang disisipkan dapat diganti dengan jenis lain seperti gambar, audio, dan video.
4. Sistem dapat disimulasikan lebih lanjut pada bahasa pemrograman yang lain, seperti bahasa java, C, dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunawan, Ibnu, Kartika Gunadi, 2005, "Pembuatan Perangkat Lunak WAVE Manipulation Untuk Memanipulasi File Wav", Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Informatika, Universitas Kristen Petra.
- [2] Qiao, Mengyu., Andrew, H.S, & Qingzhong, Liu. 2012. "MP3 audio steganalysis". USA: Information Science
- [3] Sudono H. Supangkat, kuspriyanto, juanda. 2000, "Watermarking Sebagai Teknik Penyembunyian Label Hak Cipta Pada data Digital", Departement Teknik Elektro, ITB
- [4] Putra, Dharma. 2009. *Pengolahan Citra Digital*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- [5] Hermawanto, Denny. *Tutorial Algoritma Genetika*.
- [6] Kusumadewi, S., *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003
- [7] Kusumadewi, S., dan H., Purnomo, *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristi*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005
- [8] Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, New York: Addison-Wesley, 1989

- [9] Lukas, dkk., “*Penerapan Algoritma Genetika untuk Travelling Salesman Problem dengan Menggunakan Metode Order Crossover dan Insertion Mutation*”, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, hlm: 1 s/d 5, 2005
- [10] Michael A., Gerzon and peter G. Graven., “A high-rate buried-data channel for audio CD”, Journal of the Audio Engineering Society, 43(1/2):3-22, January – February 1995.
- [11] Shaoquan Wu, J. Huang, Daren Huang, Y.Q. Shi, “Self-Synchronized Audio Watermark in DWT Domain”, IEEE (ISCAS), v-712 –v-715, 2004.
- [12] N. Sriyingyong, and K. Attakitmongcol “Wavelet-Based Audio Watermarking Using Adaptive Tabu Search” Wireless Pervasive Computing, 2006 1st International Symposium on 16-18 an. 2006 Page(s):1 – 5, 2006.
- [13] I.Daubechies “Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets,” Communications on Pure and Applied Math. Vol.41 1988, 909-996.
- [14] -. “Bit”. 14 Ferbruari 2015. <https://id.wikipedia.org/wiki/Bit>

