

OPTIMASI AUDIO WATERMARKING BERBASIS STATIONARY WAVELET TRANSFORM DENGAN METODE SPREAD SPECTRUM M – ARY MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Intan Shafinaz Rahmatika¹, Gelar Budiman², Azizah³,

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

¹intanshafinazr@gmail.com, ²gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id, ³azizah@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Semakin berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi di Indonesia justru menimbulkan beberapa dampak negatif dalam dunia penyebaran informasi. Salah satu dampak negatifnya yaitu kemudahan dalam penggandaan ilegal suatu produk digital berupa teks, foto, audio, maupun video. Jenis produk digital yang sering digandakan secara ilegal melalui jaringan internet adalah file audio digital. Untuk menghindari adanya kasus penggandaan ilegal yang merugikan para pemilik hak cipta, diperlukan adanya penyisipan informasi atau data yang merepresentasikan pemilik hak cipta ke dalam suatu file audio digital. Teknik penyisipan informasi yang dimaksud ialah *digital audio watermarking*.

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan penyisipan data *watermark* pada suatu file audio dalam format *.wav berbasis *Stationary Wavelet Transform* (SWT), dengan metode *Spread Spectrum M-ary* untuk meningkatkan kapasitas data *watermark* dan optimasi menggunakan Algoritma Genetika. Data *watermark* yang disisipkan berupa teks untuk melindungi hak cipta dari pemilik file audio. Kombinasi dari ketiga metode tersebut diharapkan dapat menghasilkan suatu audio digital terwatermark yang memiliki kualitas menyerupai file audio aslinya. Pengujian terhadap audio digital terwatermark dilakukan dengan perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR), BER, SSIM.

Hasil akhir dari tugas akhir ini dapat memiliki interpresepibilitas yang tinggi ditandai dengan SNRnya tinggi minimal 30 dB, PEAQ diatas min 1, dan ketahanan yang di hasil oleh watermarking baik. Ketahanan yang baik akan terlihat oleh BER yang kecil di bawah 5% dan kapastas yang tinggi.

Kata kunci : *Digital Audio Watermarking, SWT, SS M-ary, Algoritma Genetika*

ABSTRACT

The more of information technology and communication growing in Indonesia leads to some negative effect in a process of spreading world information. One of negative effect is, convenience and easiness to duplicate illegal product which are text, photo, audio, even video. Type of illegal product often duplicated through internet is digital audio file. To prevent this case, which harm real copyright owner, it requires hidden information or data inserted to represent the copyright owner. This information embedding technique in question is digital audio watermarking.

*In this final assignment research, embedding watermark has been done into an audio file formatted in *.wav Stationary Wavelet Transform (SWT) basic, with Spread Spectrum M-ary method to increase watermark data capacity and optimization using Algorithm Genetic. Watermark data, which embed in text form to defence copyright of the audio file owner. Combination of those 3 method hoped creating a watermarked digital audio which has the quality same as original file audio. Test to watermarked digital audio done with calculated Signal to Noise Ratio (SNR), BER, and SSIM.*

Result of this final assignment having high accuracy marked with high SNR minimal 30dB, PEAQ upper 1 point, and durability created of good watermarking. Good durability will be seen by small BER under 5% and high capacity.

Keywords : *Digital Audio Watermarking, SWT, SS M-ary, Algoritma Genetika*

1. Pendahuluan

Teknologi Informasi dan Komunikasi di Indonesia telah berkembang pesat seiring dengan adanya kemudahan akses jaringan internet dalam dunia telekomunikasi.[1] Salah satu jenis produk digital yang sering digandakan secara ilegal melalui jaringan internet adalah file audio digital. Oleh karena itu, untuk melakukan perlindungan terhadap hak cipta (*copyright*), diperlukan adanya penyisipan data yang merepresentasikan informasi tentang pemilik ke dalam file audio digital.

Penyisipan data[1] yang dimaksud adalah teknik *digital audio watermarking*. Tujuan dari watermarking audio digital adalah untuk melindungi data dari penggandaan dan penyebaran ilegal dengan penyisipan data tetapi tidak dapat diketahui kehadirannya melalui sifat pendengaran manusia.[2]*Stationary Wavelet Transform* (SWT) yang diterapkan pada teknik *digital audio watermarking* merupakan algoritma transform domain.[3] SWT dapat diaplikasikan dengan melakukan modifikasi pada algoritma dasar DWT dan SWT memiliki struktur pohon yang sama dengan DWT tetapi tanpa adanya tahap sub sampling (*decimation*).[4] SWT dapat digunakan untuk mengatasi *translation-invariance* sehingga menghasilkan reduksi noise yang lebih baik pada sinyal terwatermark. *Spread Spectrum Watermarking*[5] merupakan salah satu teknologi watermarking yang menjanjikan.[6] Dan pada penggunaannya, teknik yang lebih efisien dalam metode SS seperti modulasi M-ary dapat diaplikasikan demi meningkatkan kapasitas data watermark.[7] Modulasi M-ary akan diperlukan pada situasi dimana hanya ada sedikit ruang untuk penyisipan data, sementara disisi lain kita harus menyisipkan data dalam volume yang besar tetapi tanpa mengurangi *fidelity* dan *robustness*.

Dalam desain[8] sistem watermarking audio digital, terdapat tiga kriteria tujuan yang saling bertentangan. Kriteria tersebut adalah *imperceptibility* (visibilitas), *robustness* (ketahanan) dan kapasitas data.[9] Oleh karena itu diperlukan algoritma genetika untuk mencari parameter watermarking yang optimal.

Pada penelitian kali ini[10], teknik *digital audio watermarking* diimplementasikan ke dalam suatu file audio berformat *.wav untuk melindungi hak cipta (*copyright*) pemiliknya. Proses *digital audio watermarking* dilakukan dengan menggunakan metode *Stationary Wavelet Transform* untuk memisahkan antara sinyal frekuensi tinggi dan frekuensi rendah tanpa adanya proses sampling. Kemudian penyisipan data pada SWT dikombinasikan dengan metode SS M-ary untuk meningkatkan kapasitas datanya, dan juga digunakan algoritma genetika untuk melakukan pencarian terhadap parameter yang dapat mengoptimalkan teknik watermarking audio digital. Data watermark yang akan disisipkan berupa teks yang merepresentasikan hak cipta (*copyright*) pemilik file audio digital.

Kombinasi dari ketiga metode tersebut diharapkan dapat menghasilkan audio digital terwatermark yang memiliki kualitas menyerupai file audio aslinya. Pengujian terhadap audio digital terwatermark dilakukan dengan perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR), BER, ODG, dan kapasitas (C)[11].

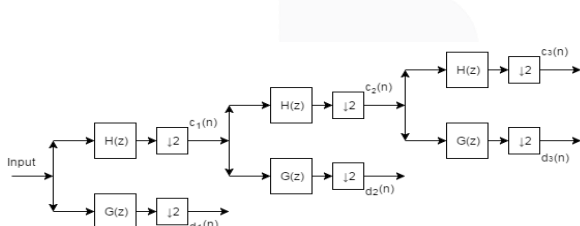
2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1. Audio Watermarking

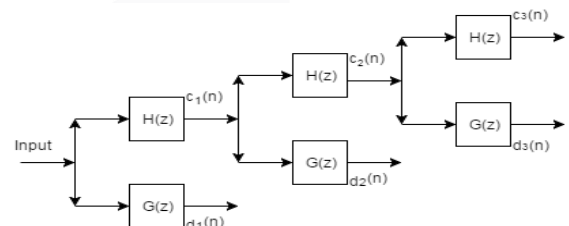
Watermarking digital adalah suatu cara menyembunyikan atau penanaman data/ informasi tertentu kedalam suatu data, tetapi tidak diketahui kehadirannya oleh indera manusia, dan mampu menghadapi pengolahan sinyal berguna sampai pada tahap tertentu. Penerapan watermarking pada data digital seperti teks, citra, video, dan audio, dilakukan pada jenis data digital tersebut. Beberapa parameter – parameter penting yang harus diperhatikan pada metode *watermarking* [12] yaitu *robustness*, kualitas, kapasitas, keamanan, imperseptibilitas.

2.2. Stationary Wavelet Transform (SWT)

Stationary wavelet Transform (SWT) adalah algoritma transformasi *wavelet* yang di rancang untuk menyempurnakan translasi – invariant dari *Discrete Wavelet Transform* (DWT). Translasi-invarian diperoleh dengan menghilangkan *downsampling* dan *upsampling* di DWT dan *upsampling* di ISWT. Dekomposisi dilakukan untuk mendapatkan sinyal pada frekuensi tinggi dan rendah dengan cara melewatkan sinyal informasi ke *High Pass Filter* (HPF), $G(z)$, dan *Low Pass Filter* (LPF), $H(z)$. Yang membedakan SWT dengan DWT adalah tidak adanya operator *downsampling* pada SWT.



Gambar 1 Diagram DWT



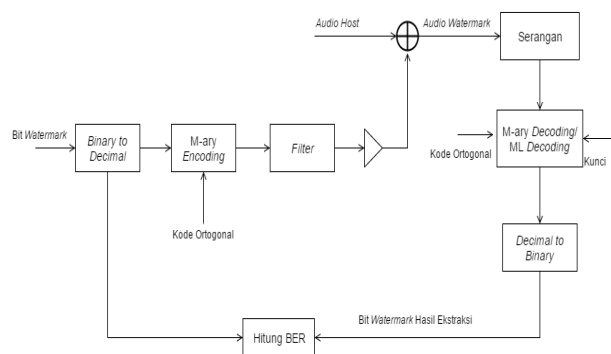
Gambar 2 Diagram SWT

2.3. M-ary

M-ary merupakan prinsip penyisipan dengan metode yang menggunakan kode orthogonal dan mode ekstraksi sama dengan *Spread Spectrum* konvensional dengan cara *blind* dan akan digunakan kode orthogonal yang lebih banyak (*multi orthogonal code*). Namun data *watermark* terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk desimal[13].

M-ary ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari M-ary adalah lebih tahan dibandingkan metode konvensional lainnya, sedangkan kekurangan dari M-ary adalah lebih kompleks dan proses Deteksi dan Ekstraksi jauh lebih lama [14].

Pada proses M-ary dibutuhkan kode ortogonal yang berbentuk PN code. Kode ortogonal ialah kode hasil dari korelasi = 0 dan hasil oto-korelasinya maksimal. Oto-korelasi itu sendiri ialah hasil kali silang antara dirinya sendiri. PN code terdiri dari 3 jenis yaitu: *balance property*, *run property*, *auto collation property*.



Gambar 3 Proses M-ary

Langkah – langkah untuk melakukan proses m-ary yaitu pertama kita memiliki bit watermark, lalu bit yang masuk diubah dari biner ke desimal. Kemudian masuk ke proses m-ary *encoding* menggunakan kode orthogonal dengan memasukkan PN *code*. Berikutnya melakukan proses filter *psychoacoustic*. Audio host akan digabungkan dengan *bit watermark* yang dikalikan dengan alfa dan menghasilkan audio yang telah ter *watermark*. Selanjutnya memberi beberapa serangan, kemudian dalam decoding m-ary kita beri kode ortogonal dan kunci untuk keamanan. Lalu hasilnya akan diubah dari lagi dari desimal ke biner. Hasil ekstraksi dari proses tersebut akan menghasilkan parameter output yaitu nilai BER.

2.4. Algoritma Genetika

Algoritma Genetika[15] adalah salah satu pendekatan untuk menentukan global optimum yang didasari oleh Teori Darwin. Algoritma genetika adalah simulasi dari proses evolusi Darwin dan operasi genetika atas kromosom.

Komponen – komponen algoritma genetika adalah

1. Skema pengkodean [Encoding]

Teknik penyandian disini meliputi penyandian gen dari kromosom. Gen merupakan bagian dari kromosom, dimana satu gen biasanya akan mewakili satu variabel. Gen dapat direpresentasikan dalam bentuk : *string bit*, pohon, *array* bilangan *real*, daftar aturan, elemen permutasi, elemen program dan lain-lain.

2. Nilai fitness

Pada algoritma genetika teknik optimasi dilakukan berdasarkan suatu fungsi yang disebut *fitness function*. *Fitness function* digunakan untuk mengevaluasi nilai dari suatu output berdasarkan parameter-parameter tertentu. Rumus dari *fitness function* sebagai berikut :

$$FF = ODG/4 - BER + C/1000 \quad (2.4)$$

3. Seleksi Orang tua

Pemilihan dua buah kromosom sebagai orang tua, yang akan dipindahsilangkan, biasanya dilakukan secara proporsional sesuai dengan dengan nilai fitness-nya.

4. Pindah Silang (Cross-over)

Salah satu pencarian nilai optimal pada algoritma genetika dilakukan menggunakan teknik *cross-over*. Sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang baik dapat diperoleh dari proses memindah-silangkan dua buah kromosom dari orang tua 1 digabungkan dengan bagian kedua dari orang tua 2.

5. Mutasi

Mutasi dapat dikatakan sebagai operasi pendukung yang menghasilkan perubahan secara acak dan seketika pada berbagai jenis kromosom. Mutasi dapat dilakukan dari semua gen yang ada dengan probabilitas mutasi tertentu. Jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi yang ditentukan maka ubah gen tersebut menjadi nilai kebalikan yang dalam hal ini, *binary encoding*, 0 diubah 1, dan 1 diubah 0. Bilamana probabilitas mutasi adalah ($\frac{1}{12}$) maka sebanyak 1 gen akan dimutasi dari kromosom yang terdiri dari 12 gen (bits).

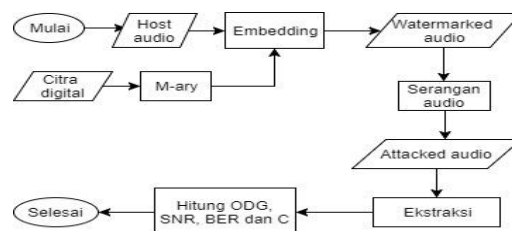
6. Elitisme

Proses seleksi dilakukan secara random sehingga tidak ada jaminan bahwa suatu individu yang bernilai fitness tertinggi akan selalu terpilih. Untuk menjaga agar individu bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi maka perlu dibuat satu atau beberapa kopinya. Prosedur ini dikenal sebagai elitisme.

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

3.1 Skema Umum

Perancangan sistem watermarking memiliki 2 proses sistem yaitu proses penyisipan (*embedding*) dan proses ekstraksi (*extraction*). Skema optimasi perancangan *audio watermarking* ini berbasis *stationary wavelet transform* dengan metode *spread spectrum* yang menggunakan algoritma genetika. Algoritma genetika digunakan untuk penentu parameter berupa level distorsi sinyal dan posisi *embedding* yang optimal untuk menyisipkan citra *watermark* pada *audio host*. Berikut ini adalah skema proses *audio watermarking*:



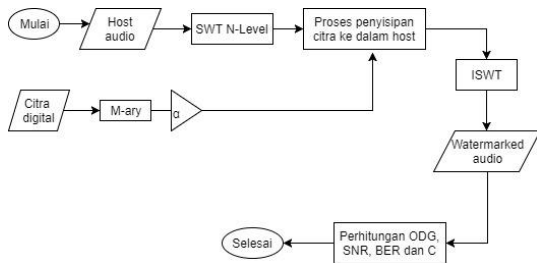
Gambar 4 Diagram alir skema umum

Pada gambar 5, Proses pertama pada skema ini adalah *host audio* dimasukkan terlebih dahulu. Kemudian dilakukan proses pemilihan subband berguna untuk proses penyisipan. Selanjutnya mengetahui jumlah bit yang akan disisipkan, dilakukan proses *embedding* merupakan teknik modulasi *ary (m-ary)* ke dalam *host audio*, kemudian didapatkan audio yang sudah terwatermark (*watermarked audio*). Lalu, *watermarked audio* akan diuji ketahanannya melalui beberapa serangan

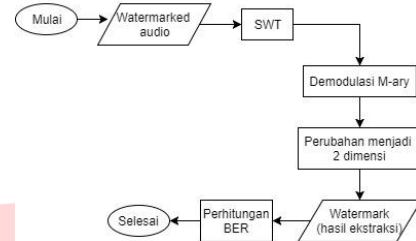
kemudian setelah mengetahui ketahanan audionya, akan dilakukan proses ekstraksi untuk memeriksa seberapa besar pengaruh serangan terhadap pesan yang disisipkan dan akan menghasilkan nilai parameter ODG, SNR, BER dan C.

3.2 Skema Embedding dan Ekstraksi (Penyisipan)

Embedding merupakan suatu proses penyisipan sinyal informasi *watermark* ke dalam *host audio*. Pada proses pertama yang terjadi di *embedding* adalah pemisahan antara *host audio* dengan data *watermark*. Kemudian hasil dari proses pemilihan subband pada SWT n-level. Pada SWT tidak ada proses *framing* karena tidak ada *downsampling* dan *upsampling*. Hasil ini akan digabungkan lagi dengan data *watermark*. Hasil tersebut berbentuk *Inverse* dari SWT (ISWT) dan didapatkan audio yang telah ter-*watermarked*. Proses *embedding* dibutuhkan waktu komputasi sekitar 1 - 3 menit. Berikut merupakan gambar diagram alur dari skema proses *embedding* dan ekstraksi *watermark* :



Gambar 5 Diagram alir skema proses embedding



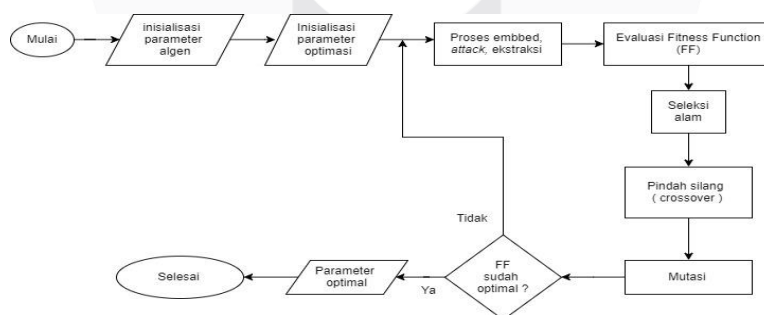
Gambar 6 Diagram alir skema ekstraksi

Pada gambar 6 dijelaskan audio akan melalui beberapa proses sehingga *watermark* dapat disisipkan di dalamnya, antara lain Lakukan pemilihan *host audio* yang akan diinputkan dengan file berformat *.wav* dengan durasi 5 – 10 detik. Pemilihan SWT N-Level. Proses ini terjadi proses Low Pass filter (LPF) dan High Pass Filter (HPF), yang dipilih pada subband daya rendah. Penyisipan citra menggunakan *m-ary*. Pilihlah citra biner berupa hitam putih yang berukuran 64x64 pixel (*.jpg). Proses ini mengubah dimensi citra dari sinyal 2 dimensi (2D) menjadi sinyal 1 dimensi (1D) agar citra biner bisa disisipkan ke *host audio* yang merupakan sinyal 1D. Kemudian, pada proses *m-ary* yaitu mengkonversi bilangan biner ke bilangan desimal, dari bilangan desimal diubah lagi ke bilangan biner tetapi berbasis *PN code*. *PN code* setelah itu langsung disisipkan (*embedding*) data citra yang dikalikan *alfa* dan ditambahkan dengan *host audio*. Selanjutnya dilakukan proses *Inverse Stationary Wavelet Transform* (ISWT) agar mengembalikan *watermarked audio* ke dalam domain waktu. Proses ini juga menggabungkan bagian frekuensi yang tidak terpilih pada proses penyisipan. Setelah itu seluruh proses dilakukan terbalik untuk mendapatkan audio pada bentuk aslinya. Kemudian, hitung nilai ODG, SNR, BER dan C untuk mengukur kualitas audio yang diberikan watermark.

3.3 Skema Ekstraksi

Proses ekstraksi akan dilakukan pengambilan *watermark* yang disisipkan didalam audio setelah diuji serangan. Tahan atau tidaknya suatu *watermarking* dapat dilihat dari bagaimana informasi yang diambil. Pada dasarnya, tahapan dalam proses ekstraksi hampir sama dengan tahapan yang dilakukan pada proses penyisipan, hanya saja ada proses serangan (*attack*) setelah didapatkannya hasil *watermarked audio*.

3.4 Skema Algoritma Genetika



Gambar 8 Skema proses Algoritma Genetika

Berikut adalah tahapan – tahapan pada proses *watermarking* dengan menggunakan algoritma genetika : Pertama, melakukan inisialisasi parameter algoritma genetika dengan jumlah populasi 20, jumlah generasi sebanyak 300 dan probabilitas mutase sebesar 50 %. Kedua, setelah dilakukan inisialisasi parameter yang akan dioptimasi oleh algoritma genetika berdasarkan parameter yang ada pada metode SWT *m-ary* yaitu parameter repatisasi untuk *m-ary* (R_{pi}), jumlah kode PN orthogonaal (nblock), dan kunci PN *code* untuk *security* (kunci). Ketiga, selanjutnya melakukan evaluasi nilai FF perindividu tiap kali proses optimasi dilakukan. Evaluasi nilai *fitness function* dilakukan pada setiap individu atau kromosom didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{ODG}{4} - BER + \frac{c}{100} \tag{3.4}$$

Keterangan :

- c = individu atau kromosom saat ini;
 FF = nilai *fitness function* perindividu;
 ODG = nilai *objective different grade*;
 BER = nilai *bit error rate*;
 C = nilai *payload*

Keempat, proses *embedding*, *attack* dan *extraction* dapat dilakukan dengan menggunakan parameter yang akan dioptimasi. Kelima, kemudian dilakukan optimasi berdasarkan skema dari algoritma genetika seperti proses seleksi alam, *crossover*, dan mutasi untuk mendapatkan nilai FF yang lebih baik. Tahapan berikutnya adalah melakukan pengecekan nilai FF dan jumlah generasi. Jika nilai FF sudah optimal (grafik konstan sebelum 300 generasi) atau jumlah generasi sudah mencapai 300, maka proses algoritma genetika dapat dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Jika tidak, kembali lagi ke proses evaluasi nilai FF sampai salah satu dari kedua syarat tersebut tercapai. Jika FF sudah optimal atau jumlah generasi mencapai 300 maka, dapatlah parameter hasil proses algoritma genetika yang terptimal.

4. Pengujian Sistem dan Analisis Hasil

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan audio berformat *.wav, dengan durasi 5 – 10 detik, dengan frekuensi *sampling* 44100 Hz dan kuantisasi 16 bit. Penilaian dilakukan menggunakan 4 jenis audio yang berbeda sebagai *host*, dan informasi yang disisipkan berupa citra biner 64 x 64 piksel. Uji coba dilakukan dengan memakai 5 jenis audio untuk mengetahui keandalan sistem pada genre yang berbeda.

4.1 Analisis Parameter terhadap Kinerja Watermarking

Pengaruh perubahan parameter yang diubah – ubah satu persatu. Parameter tersebut yaitu Rpi, nblock, alfa, n, kunci, thr. Dapat dilihat dari pengujian dengan analisis parameter menghasilkan nilai ODG, SNR, BER dan C yang bagus. Tabel di bawah ini nilai parameter terbaik :

Tabel 1 inialisasi parameter

Rpi	nblock	alfa	n	kunci	thr	ODG	SNR	BER	C	FF
6	8	0,01	1	400	0,005	-1,7263	31,0651	0	229,6875	0,0278
6	8	0,01	1	400	0,0004	-1,7263	31,0651	0	229,6875	0,0278
6	8	0,01	1	400	0,0005	-1,7263	31,0651	0	229,6875	0,0278
6	8	0,01	1	400	0,0006	-1,7263	31,0651	0	229,6875	0,0278
6	8	0,01	1	400	0,0007	-1,7263	31,0651	0	229,6875	0,0278

4.2 Analisis Ketahanan watermark pada Sistem Tanpa Algoritma Genetika

Sistem *audio watermarking* yang telah dibuat akan diuji ketahanan data *watermark* dengan cara memberikan beberapa serangan. Parameter yang digunakan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 2 hasil ketahanan watermark pada system tanpa algoritma genetika

Serangan	Jenis	Keterangan	Audio				
			host	instrumen	Jazz	Classic	Rock
0	Tanpa serangan	-					
1	LPF	3000	0,525	0,5325	0,465	0,4725	0,5175
		6000	0,5175	0,4675	0,5075	0,5	0,4575
		9000	0,2925	0,4675	0,435	0,4925	0,4525
2	BPF	10 smp 6k	0,5025	0,5125	0,4675	0,525	0,4475
		100 smp 6k	0,47	0,485	0,53	0,4625	0,475
		50 smp 6k	0,47	0,505	0,455	0,495	0,4425
5	Noise	5dB	0,32	0,4625	0,41	0,4725	0,435
		10dB	0,0325	0,4225	0,25	0,37	0,3275
		20db	0	0,1625	0,085	0,1175	0,26
6	Resampling	11025	0,47	0,5325	0,4775	0,5	0,5225
		16000	0,485	0,535	0,4775	0,5075	0,4925
		22050	0,49	0,535	0,4775	0,5	0,4675
7	TSM	0,98	0,175	0,1825	0,405	0,28	0,3925
		0,99	0,065	0	0,09	0,33375	0,3225
		0,97	0,29	0,2625	0,1475	0,27	0,4425
8	Spread Spectrum	0,85	0	0	0,0525	0	0,4125

		0,9	0	0	0,0525	0	0,4125
		0,95	0	0	0,0525	0	0,4125
9	Pitch Shifting	99	0,4575	0,53	0,5025	0,5325	0,5175
		96	0,4225	0,5525	0,51	0,4925	0,545
10	Equalizer	0	0	0	0	0	0,0275
11	Echo	0	0	0	0,0175	0	0,23
13	Kompresi MP3	32	0,52	0,4775	0,485	0,525	0,49
		64	0,4625	0,4675	0,475	0,5225	0,4575
		128	0	0,04	0,16	0,15	0,4975

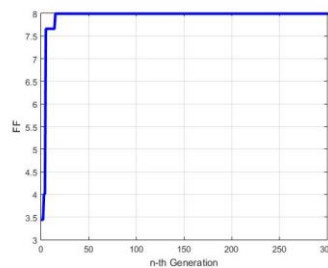
4.3 Analisis Ketahanan Watermark pada Sistem Algoritma Genetika

Audio watermarking kemudian diimplementasikan dengan menggunakan algoritma genetika sebagai optimasi dari sistem watermarking tersebut hingga didapatkan parameter Rpi, nblock, alfa, n, kunci dan thr yang optimal untuk dilakukan pengujian terhadap semua serangan tersebut.

Tabel 3 Parameter optimal untuk serangan LPF

rpi	a1	nblock	n	thr	kunci	Jenis
6	0,4	12	1	0,000005	398	Haar

Berikut merupakan grafik nilai fitness function yang dilakukan sebanyak 300 generasi dengan jumlah populasi 20.



Gambar 7 Grafik nilai fitness function optimasi LPF

Setelah dioptimasi, audio akan menghasilkan nilai ODG, BER, SNR, dan kapasitas yang berbeda dibandingkan sebelum optimasi. Berikut adalah perbandingan nilai – nilai tersebut:

Tabel 4 Pengaruh optimasi serangan LPF terhadap audio watermarking

LPF 3000	BER	ODG	SNR	Kapasitas
Sebelum Optimasi	0,545	-1,566	40,2486	229,6875
Sesudah Optimasi	0,015	-2,5017	7,3188	21,111

4.4 Pengaruh Hasil Ekstraksi terhadap Parameter Optimasi pada Semua Serangan

Setelah semua parameter yang didapatkan dari hasil optimasi algoritma genetika diuji dengan semua serangan didapatkan hasilnya, dipilih salah satu parameter dengan ketahanan terbaik terhadap sebagian besar serangan untuk diuji kembali. Audio yang diserang merupakan audio instrumen dengan serangan LPF tersebut pada tabel dibawah ini:

Tabel 5 Parameter optimal terhadap semua serangan

rpi	a1	nblock	n	thr	kunci	Jenis
6	0,4	12	1	0,000005	398	Haar

Tabel 6 Hasil pengujian terhadap semua serangan

Jenis serangan	Kriteria	BER (Sebelum)	BER (Sesudah)	Watermark Ekstraksi
LPF	3kHz	0,5325	0,0369	IS
	6kHz	0,4675	0	IS

	9kHz	0,4675	0	IS
BPF	10 sampai 6000	0,5125	0	IS
	100 sampai 6000	0,485	0	IS
	50 sampai 6000	0,505	0	IS
Noise	5 dB	0,4625	0	IS
	10 dB	0,4225	0	IS
	20 dB	0,1625	0	IS
Resampling	11025	0,5325	0,4233	
	16000	0,535	0,4512	
	22050	0,535	0,4233	
TSM	0,98	0,1825	0,4399	
	0,99	0	0,4812	
	0,97	0,2625	0,4785	
Speed Change	0,85	0	0	IS
	0,9	0	0	IS
	0,95	0	0	IS
Pitch Shifting	99	0,53	0,5027	
	96	0,5525	0,4902	
Equalizer		0	0	IS
Gema / Echo		0	0	IS
Kompresi MP3	32	0,4775	0,5073	
	64	0,4675	0	IS
	128	0,04	0	IS

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada *audio watermarking* berbasis *Stationary Wavelet Transform (SWT)* pada metode *Spread Spectrum M – ARY* dan di optimasi menggunakan algoritma genetika, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Setelah dilakukan perhitungan dengan mengubah nilai parameter satu per satu yaitu parameter R_{pi} , N_{block} , N , α , thr dan kunci. Maka parameter yang paling baik yaitu ketika $R_{pi} = 6$, $N_{block} = 8$, $\alpha = 0,01$, $N = 1$, kunci = 400, $thr = 0,005$ yang menghasilkan nilai $ODG = -1,7263$, $SNR = 31,0651$, $BER = 0$ dan $C = 229,6875$.
2. Algoritma genetika dapat menjadi solusi terbaik untuk *audio watermarking*. Hal ini ditunjukkan dengan hasil *audio watermarking* setelah optimasi lebih baik dibandingkan sebelum optimasi.

3. Parameter hasil optimasi menggunakan algoritma genetika dari suatu jenis *audio*, belum tentu sama dengan parameter terbaik untuk jenis *audio* lain. Sehingga, jika jenis *audio* lain diinginkan hasil terbaik pada sistem ini, *audio* tersebut perlu optimasi menggunakan algoritma genetika.
4. Sistem ini paling tidak tahan terhadap serangan *pitch shifting*, karena memiliki BER diatas 0.47 di setiap jenis audio setelah dilakukan optimasi.
5. Sistem paling tahan terhadap serangan yaitu LPF dengan *audio classic* karena memiliki nilai BER mendekati nol atau 0.015.
6. Semua serangan yang dioptimasi oleh algoritma genetika menghasilkan parameter *output* yaitu dengan nilai BER = 0.015 dan pada SNR pada nilai terbaiknya yaitu 85.7651 db.

5.2 Saran

Dari hasil analisis dan kesimpulan yang telah didapat, terdapat beberapa hal yang mungkin dapat dikembangkan dari penelitian ini, yaitu :

1. Pengimplemantasian algoritma genetika dalam MATLAB sebaiknya dilakukan dengan perangkat yang lebih memadai sehingga proses yang dilakukan bisa berjalan dengan baik dan cepat
2. Pada penelitian ini, optimasi algoritma genetika dilakukan pada lima *host audio* tetapi hanya ada satu serangan yang dioptimasi ditiap *host audio*. Sebaiknya pada penelitian berikutnya dapat dilakukan beberapa jenis serangan untuk mendapatkan hasil yang lebih detail.
3. Saat mengoptimasi algoritma genetika mengubah jumlah generasi dan populasi yang lebih besar, sehingga bisa mendapatkan nilai yang lebih optimal

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Munir, "Steganografi dan Watermarking Departemen Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung," vol. Bahan Kuli, pp. 1–7, 2004.
- [2] M. Fallahpour and D. Megias, "Transparent high capacity audio watermarking in wavelet domain," 2015 10th Int. Conf. Internet Technol. Secur. Trans. ICITST 2015, no. Dd, pp. 242–247, 2016.
- [3] I. Journal and F. O. R. Engineering, "Implementation of Audio Watermarking Technique for Copyright Protection," no. C.
- [4] C. Engineering, "Uncompressed Digital Video Watermarking Using Stationary Wavelet Transform," no. 978, pp. 1252–1258, 2014.
- [5] K. N. K. Thapa, P. Kumari, and L. Kantham, "Digital signature using stationary wavelet transform based watermarking for robots," 2014 IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Comput. Res. IEEE ICCIC 2014, pp. 307–312, 2015.
- [6] S. Vancouver, W. Centre, S. Sedghi, H. R. Mashhadi, and M. Khademi, "Detecting Hidden Information from a Spread Spectrum Watermarked Signal by Genetic Algorithm," *Evol. Comput.*, pp. 173–178, 2006.
- [7] P. Zhang, Y. Li, X. Ma, Y. Fan, and X. Chen, "Efficient Audio Data Hiding via Parallel Combinatory Spread Spectrum," no. 2012, pp. 814–818, 2015.
- [8] A. Phadikar, "Multibit QIM Watermarking Using M-ary Modulation and Lifting," no.1, 2010.
- [9] P. Kumsawat, "An Efficient Digital Audio Watermarking Scheme Based on Genetic[1] [1]Algorithm," *Transform*, pp. 481–485, 2010.
- [10] M. Ketcham and S. Vongpradhip, "Intelligent Audio Watermarking using Genetic Algorithm in DWT Domain," vol. 1, no. 2, pp. 336–341, 2007.
- [11] E. Octari, I. Iwut, G. Budiman, D. Audio, W. Transform, and C. C. Transform, "Digital Audio Watermarking Dengan Algoritma Wavelet Transform Dan Complex Cepstrum Transform."
- [12] Rolasris, "Analisis Audio Watermarking Berbasis Metode DCT dan Phase Coding pada Ambient Mode," Tugas Akhir, Universitas Telkom, Bandung, 2016.
- [13] B. Chen and G. W. Wornell, "Quantization index modulation: A class of provably good methods for digital watermarking and information embedding," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 47, no. 4, pp. 1423–1443, 2001.
- [14] S. Briefs, I. N. Elec, and T. Al, *Advances in Audio Watermarking Based on Singular Value Decomposition*.
- [15] B. Laurence, T. ahmed H., H. Khaled N. "Digital Watermarks for Audio Signals"
- [16] Suyanto, *Algoritma Genetika Dalam Matlab*, 1st ed. Yogyakarta: Andi Offset, 2005.
- [17] M. Sadeghzadeh and M. Taherbaghal, "A New Method for Watermarking using Genetic Algorithms," pp. 1–8, 2014.