

ANALISIS AUDIO WATERMARKING BERBASIS STATIONARY WAVELET TRANSFORMATION DENGAN METODE PENYISIPAN SPREAD SPECTRUM DAN DIOPTIMASI ALGORITMA GENETIKA

Rahadian Lintang Sinuryo¹, Gelar Budiman², Azizah³

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

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

Abstrak

Kita telah memasuki era dimana informasi bisa disebarluaskan dalam bentuk digital. Berbagai macam informasi entah itu dalam bentuk teks, audio, citra, maupun audio kini dapat dengan mudah diunggah dan diakses oleh berbagai kalangan dengan cepat dan mudah. Namun juga tidak sedikit oknum yang menyalahgunakan kelebihan ini untuk kepentingannya sendiri, tidak terkecuali *file* dalam bentuk audio yang akan dibahas pada jurnal ini. Audio menjadi salah satu bentuk *file* yang paling banyak dilanggar hak ciptanya, seperti proses pengambilan sebagian (*resampling*) sebagai contoh yang paling umum. Karena itu, jurnal ini memberikan solusi agar dapat mencegah terjadinya pelanggaran tersebut, dengan menggunakan metode *watermarking*. *Watermarking* adalah proses penyisipan *file* sebagai tanda atau *copyright* tanpa merusak *file* aslinya. *File* yang disisipkan pada jurnal ini berupa citra dengan audio sebagai *file host*. Metode yang akan digunakan pada tugas akhir ini antara lain *Stationary Wavelet Transformation* (SWT), dengan metode penyisipan *Spread Spectrum* (SS), dan dioptimasi menggunakan algoritma genetika. *Spread Spectrum* adalah metode penyisipan dengan hasil dimana watermark akan disisipkan pada frekuensi rendah sehingga lebih sulit untuk dideteksi. Algoritma genetika digunakan untuk menentukan parameter evaluasi kualitas yang akan dimodifikasi sehingga data watermark masih memiliki *imperceptibility* dan *robustness* yang baik. Diimplementasikan menggunakan MATLAB, audio akan diuji dengan dua macam serangan yaitu *resampling*, dan kompresi MP3. Setelah dilakukan pengujian akan dilanjutkan dengan optimasi menggunakan Algen. Dari pengujian tersebut akan didapatkan parameter keluaran dari masing-masing lima jenis audio dengan diberikan dua macam serangan tersebut. Dari proses tersebut akan didapatkan parameter keluaran, yaitu ODG, SNR, BER dan C.

Kata kunci : *Watermarking, SWT, SS, Algoritma Genetika, Resampling, Kompresi MP3, ODG, SNR, BER, C.*

Abstract

We have entered an era where information can be disseminated in digital form. Various information whether in the form of text, audio, imagery, and audio can now be easily uploaded and accessed by various circles quickly and easily. But also not a few persons who abuse this advantage for its own sake, not least the file in the form of audio that will be discussed in this journal. Audio has become one of the most heavily infringed copyrighted files, such as the most common resampling process. Therefore, this journal provides a solution in order to prevent the occurrence of such violations, using the watermarking method. Watermarking is the process of inserting a file as a sign or copyright without damaging the original file. The file inserted in this journal is an image with audio as the host file. The methods to be used in this final project are Stationary Wavelet Transformation (SWT), with Spread Spectrum (SS) insertion method, and optimized using genetic algorithm. The genetic algorithm is used to determine the quality evaluation parameters to be modified so that the watermark data still has good imperceptibility and robustness. Implemented using MATLAB, the audio will be tested with two kinds of attacks: resampling, and MP3 compression. then the test will continue with optimization using Genetic Algorithm. From the test will get the output parameters of each of the five types of audio with given two kinds of attacks. From the process will get the output parameters, namely ODG, SNR, BER and C.

Keywords: *Watermarking, SWT, SS, Genetic Algorithm, Resampling, MP3 Compression, ODG, SNR, BER, C.*

1. Pendahuluan

Teknologi digital terus berkembang secara eksponensial. Selain *device* yang digunakan, kualitas koneksi internet juga berkembang begitu cepat. Karena itu kualitas data seperti berkas audio yang tersebar di dunia maya memiliki kualitas yang juga membaik. Namun itu semua tidak memperlambat para pembajak berkas audio di internet untuk menyebarluaskan audio secara ilegal. Salah satu bentuk proteksinya adalah *Audio Watermarking*. *Audio Watermarking* adalah proses penyisipan file seperti teks atau citra ke dalam host file, dalam kasus ini adalah file audio [1]. Hasil ideal *Audio Watermarking* memiliki tiga parameter, yaitu tahan terhadap serangan, *file* yang disisipkan *inaudible*/transparan, namun memiliki kapasitas yang kecil. Jurnal ini menggunakan metode *Stationary Wavelet Transform* (SWT). Metode ini mampu mengisi beberapa kekurangan kemampuan metode *watermarking* yang lain. Metode lain tidak *shift invariant* seperti SWT [1], SWT juga memiliki performa yang lebih baik ketika titik fitur digeser pada saat dilakukan penyerangan pada audio yang sudah diberi *watermark* [1]. Selain itu tugas akhir ini juga didukung metode *Spread Spectrum* (SS). *Spread Spectrum* memiliki kelebihan yaitu dapat mengurangi interferensi dan memiliki performa deteksi *watermark* yang baik [2]. Algoritma Genetika juga digunakan sebagai pengoptimasi setelah dilakukan pengujian serangan oleh Mp3 dan Resampling.

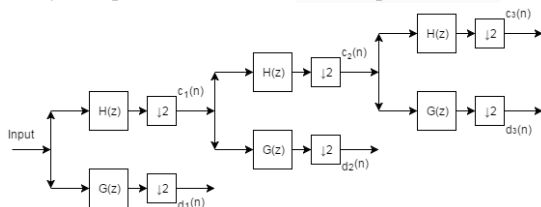
2. Landasan Teori

2.1 Audio Watermarking

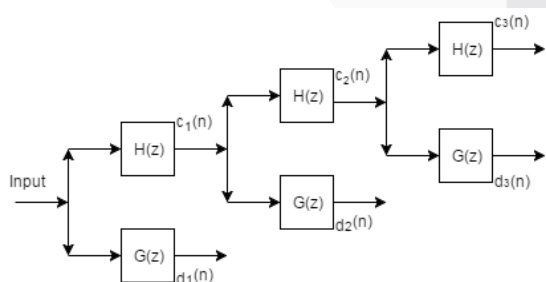
Audio watermarking adalah suatu proses penyisipan teks atau citra ke dalam *file host*, dalam hal ini *file host* yang digunakan adalah audio [1]. *File* yang disisipkan ke dalam *file host* harus transparan, atau tidak dapat disadari oleh indera manusia, karena *file host* audio yang dijadikan indera adalah sistem auditori manusia/*human auditory system* (HAS), yaitu telinga [3]. *Audio watermarking* yang ideal adalah yang ideal haruslah tahan terhadap berbagai macam serangan sampai pada tahap tertentu, entah serangan yang disengaja yang pada umumnya adalah pembajakan, maupun yang tidak disengaja atau *human error*.

2.2 Stationary Wavelet Transformation

Stationary Wavelet Transformation (SWT) memiliki konsep yang mirip dengan *Discrete Wavelet Transformation* (DWT) walaupun tetap pada domain yang sama, namun perbedaannya adalah tidak dilakukan *downsampling* di setiap *step* dekomposisinya [4]. Karena itu SWT memiliki nama lain *Undecimated Wavelet Transformation* (*undecimated* sendiri memiliki makna tidak dilakukannya *downsampling*). Transformasi *wavelet* sendiri berfungsi untuk memperlebar sinyal digital ke dalam bentuk domain *wavelet*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi yang tidak muncul pada domain aslinya (umumnya waktu) [5]. 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 [4].



Gambar 2.1 Diagram DWT [5]



Gambar 2.1 Diagram SWT [5]

Pada SWT dihilangkan komponen *downsampling* [4]. *Downsampling* sendiri menghilangkan koefisien *redundant*, yang sebenarnya tidak perlu untuk merekonstruksi sinyal secara sempurna [5]. Pada DWT koefisien *upsampling* dan *downsampling* ada pada setiap *step* iterasi. Karena hal ini pula metode SWT lebih tangguh

dibandingkan metode DWT [6]. Dari diagram diatas dapat dinyatakan persamaan sebagai berikut,

$$c_j(n) = (c_{j-1}(n) * H_j(n)) [6]$$

2.3 Spread Spectrum

Spread spectrum adalah suatu metode komunikasi dimana sinyal informasi disebar diseluruh frekuensi yang tersedia [7]. Dengan menambahkan *pseudo-noise* (PN), watermark disebar ke frekuensi yang luas amplitudonya yang bahkan bisa berada dibawah amplitudo *pseudo-noise* tersebut [7], sehingga makin sulit untuk terdeteksi. *Spread Spectrum* memilih tempat penyisipan data pada frekuensi yang rendah [7]. *Spread spectrum* sulit dideteksi karena amplitudo dan kerapatan tegangan yang jauh lebih rendah dibanding sinyal yang belum di *spread spectrum*. *Spread spectrum* memiliki kelebihan yang sangat penting, yaitu ketahanannya terhadap *jamming* dan interferensi. Andaikata sinyal yang dibuat mengalami kerusakan di tengah jalan, informasi yang disampaikan masih dapat dipersepsi. Sifat ini cocok digunakan untuk *watermarking* audio yang format filenya mungkin mengalami kompresi, terutama kompresi *lossy* seperti MP3 [8]. *Watermarking spread spectrum* pada arsip audio ini akan di implementasikan dengan skema sebagai berikut [8]:

1. Mengubah data audio *host* di *time-domain* ke *frequency-domain*.
2. Menambahkan sinyal informasi dengan metode *spread-spectrum* ke *file host* pada domain frekuensi.
3. Mengubah lagi data audio *host frequency-domain* ke *time-domain*.

Secara umum sinyal ter-*watermark* menggunakan SS dapat dituliskan sebagai berikut :

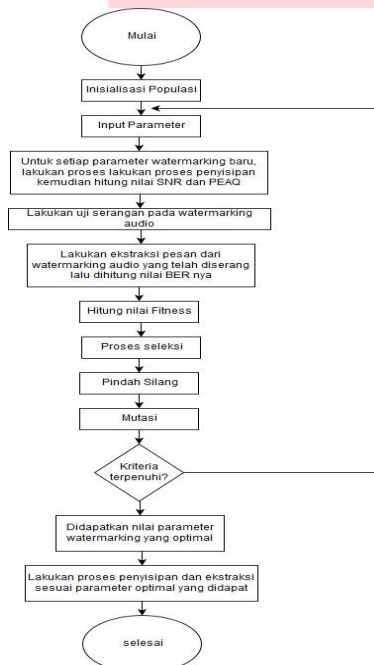
$$s = \begin{cases} x + \alpha_1 b u - \lambda_1 \langle x, u \rangle u, & b \langle x, u \rangle \geq 0 \\ x + \alpha_2 b u - \lambda_2 \langle x, u \rangle u, & b \langle x, u \rangle < 0 \end{cases} [9]$$

Dimana x adalah vektor *host*, $b = \pm 1$ adalah bit watermark yang akan disisipkan, dan u adalah *pseudo-noise* (PN) dengan N elemen ± 1 ; α_1 dan α_2 skala kekuatan watermark, λ_1 dan λ_2 pengontrol kekuatan sinyal kompensasi. [9]

2.4 Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah algoritma pencarian yang mekanisme dasarnya adalah seleksi alamiah. Algoritma Genetika awalnya digunakan untuk pencarian parameter-parameter optimal, namun pada perkembangannya Algoritma Genetika bias digunakan untuk peramalan, learning, dan lainnya. Hasil percobaan pada optimasi algoritma genetika menghasilkan *imperceptibility* dan ketahanan yang baik [9]. Algoritma Genetika menghasilkan urutan-urutan / rangkaian-rangkaian populasi menggunakan *selection mechanism*, dan juga menggunakan *crossover* serta mutasi sebagai *search mechanism*. Metode ini sangat bergantung pada *crossover*, probabilitas dari semua mekanisme yang dapat terjadi, pertukaran informasi dari setiap solusi yang diuji coba,

untuk mencari solusi yang terbaik dari semuanya [10]. Sebuah solusi yang dibangkitkan dalam algoritma genetika disebut sebagai kromosom, sedangkan kumpulan kromosom tersebut disebut sebagai populasi [10]. Sebuah kromosom di bentuk dari komponen-komponen penyusun yang disebut sebagai gen dan nilainya dapat berupa bilangan numerik, biner, simbol ataupun karakter tergantung dari permasalahan yang ingin diselesaikan [10]. Kromosom-kromosom tersebut akan berevolusi secara berkelanjutan yang disebut dengan generasi. Dalam tiap generasi kromosom-kromosom tersebut dievaluasi tingkat keberhasilan nilai solusinya terhadap masalah yang ingin diselesaikan (fungsi objektif) menggunakan ukuran yang disebut dengan fitness [10]. Untuk memilih kromosom yang tetap dipertahankan untuk generasi selanjutnya dilakukan proses yang disebut dengan seleksi. Proses seleksi kromosom menggunakan konsep aturan evolusi Darwin yang telah disebutkan sebelumnya yaitu kromosom yang mempunyai nilai *fitness* yang tinggi akan memiliki peluang lebih besar untuk terpilih lagi pada generasi selanjutnya [10].



Gambar 2.4 Skema Algoritma Genetika [9]

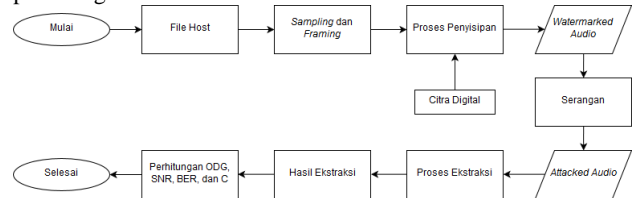
Kromosom-kromosom baru yang disebut dengan *offspring*, dibentuk dengan cara melakukan perkawinan antar kromosom dalam satu generasi yang disebut sebagai proses *crossover* atau pindah silang. Jumlah kromosom dalam populasi yang mengalami *crossover* ditentukan oleh parameter yang disebut dengan probabilitas *crossover* [10]. Mekanisme perubahan susunan unsur penyusun makhluk hidup akibat adanya faktor alam yang disebut dengan mutasi direpresentasikan sebagai proses berubahnya satu atau lebih nilai gen dalam kromosom dengan suatu nilai acak.

3. Model Sistem

3.1 Blok Diagram Sistem

Pada tugas akhir ini akan dirancang skema *audio watermarking* dengan basis SWT dan proses penyisipan

oleh SS yang selanjutnya akan dioptimasi dengan algen. Pada skema *watermarking* ini akan dibagi menjadi lima bagian utama, yaitu proses pemilihan bit sebagai tempat penyisipan, uji serangan, proses penyisipan bit *watermark*, proses ekstraksi dan proses optimasi dengan algen. Proses optimasi akan berhenti jika telah tercapai nilai optimum dari *Object Different Grade* (ODG), *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *bit error rate* (BER). Model sistem yang diajukan pada Tugas Akhir ini secara umum digambarkan pada diagram berikut :

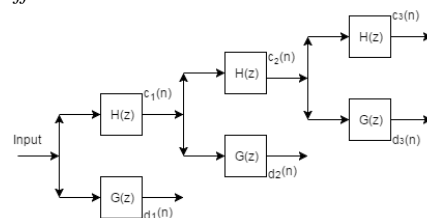


Gambar 3.1 Diagram Alir Audio Watermarking Secara Umum

- Step 1.** Membaca file input.
- Step 2.** Dilakukan proses sampling dan framing.
- Step 3.** Dilakukan proses penyisipan file watermark ke dalam file host, dalam jurnal ini digunakan metode penyisipan SS.
- Step 4.** Proses tersebut menghasilkan Watermarked Audio dan siap untuk memberikan serangan.
- Step 5.** Dilakukan proses serangan, pada jurnal ini digunakan dua macam serangan, yaitu kompresi MP3 dan *Resampling*.
- Step 6.** Proses tersebut menghasilkan Attacked Audio dan dapat dilanjutkan dengan proses ekstraksi watermark dari file host.
- Step 7.** Dilakukan proses ekstraksi untuk melihat hasil dari proses-proses sebelumnya, bagaimana pengaruhnya terhadap file watermark yang telah disisipkan ke dalam file host.
- Step 8.** Didapatkan hasil ekstraksi dan dapat dibandingkan hasil sebelum dan sesudahnya dan dianalisis
- Step 9.** Dihitung parameter keluarannya sebagai pembandingan sebelum dan sesudah

3.2 Pemilihan Bit Sebagai Tempat Penyisipan

Pada proses ini akan dipilih dimana bit data *watermark* akan disisipkan ke dalam file host. Proses pemilihan ini menggunakan metode SWT. Pada proses SWT file host akan dipecah menjadi dua bagian, dengan memisahkan frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dengan cara dilewatkan ke HPF dan LPF yang disebut dekomposisi [4], dimana hasil dekomposisi disebut $c(n)$, yaitu *coarse coefficients* sebagai hasil keluaran LPF, dan $d(n)$, yaitu *detailed coefficients* sebagai hasil keluaran HPF, setelah itu dilakukan lagi dekomposisi lagi beberapa kali pada *coarse coefficients*.

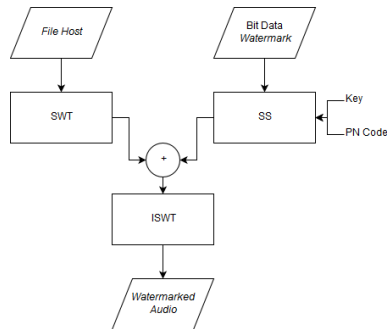


Gambar 3.2 Diagram SWT [5]

Data *watermark* yang akan disisipkan yang awalnya berupa string, akan dikonversi ke dalam bentuk bit dengan kode ASCII. Karena data yang disisipkan hanya bisa dalam bentuk bahasa mesin, yaitu biner.

3.3 Proses Embedding Bit Watermark

Pada proses penyisipan bit watermark akan menggunakan metode SS setelah didapatkan dimana tempat penyisipan yang telah dipilih melalui proses SWT. Berikut adalah diagram penyisipan yang dilakukan dengan dua metode tersebut,

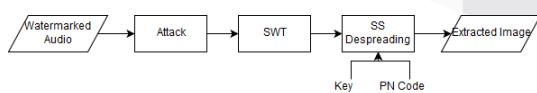


Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Penyisipan

- Step 1.** Membaca file input.
- Step 2.** Dilakukan proses transformasi untuk merubah domain file host ke dalam domain frekuensi
- Step 3.** Membaca bit data watermark yang akan disisipkan ke dalam file host
- Step 4.** Proses penyisipan dilakukan dengan metode SS, metode ini membutuhkan parameter Key dan PN code untuk ditetapkan
- Step 5.** Dilakukan Proses pembalikan, merubah domain file host yang sudah disisipkan watermark dari domain frekuensi ke bentuk semula dengan ISWT
- Step 6.** Didapatkan Watermarked Audio

3.4 Proses Ekstraksi dan Uji Serangan

Sebelum audio *watermark* di ekstraksi, akan di lakukan uji serangan terlebih dahulu. Jenis – jenis serangan yang akan di coba adalah konversi ke dalam bentuk MP3 dan *resampling*. Setelah di lakukan uji serangan, data *watermarked* audio akan di ekstraksi dengan metode SS dan ISWT untuk mengembalikan bit audio *watermark* dan audio *host*. Berikut ini adalah diagram alir proses ekstraksi dan uji serangannya:



Gambar 3.4 Diagram Alir Uji Serangan dan Ekstraksi

- Step 1.** Watermarked Audio yang sebelumnya sudah didapatkan dibaca sebagai file input.
- Step 2.** Watermarked Audio diberikan serangan sesuai dengan serangan yang diinginkan, dalam jurnal ini ada dua macam yang digunakan, yaitu MP3 dan Resampling
- Step 3.** Dilakukan Proses pembalikan, merubah domain file host yang sudah disisipkan watermark dari domain frekuensi ke bentuk semula dengan ISWT

Step 4. Dilakukan Despreading dengan menggunakan SS, Key dan PN Code yang digunakan sebelumnya harus sama pada proses ini

Step 5. Didapatkan data terekstraksi, dalam jurnal ini berupa citra

Pada *watermark* audio yang terbentuk akan dilakukan beberapa uji serangan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan steganografi terhadap tindak perusakan yang mungkin terjadi pada implementasinya. Terdapat enam uji serangan yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu :

1. Kompresi MP3

Pada tugas akhir ini akan dilakukan uji kompresi MP3 dimana *watermark* audio yang telah terbentuk akan diubah formatnya menjadi MP3 dan ukuran file akan diperkecil. Uji kompresi ini amat penting dilakukan karena di masa kini file berbentuk MP3 lebih populer digunakan sehingga cukup besar kemungkinan audio *watermark* ini akan mengalami perubahan format pada implementasi sesungguhnya.

2. Resampling

Pada tugas akhir ini akan dilakukan uji kompresi MP3 dimana *watermark* audio yang telah terbentuk akan diubah formatnya menjadi MP3 dan ukuran file akan diperkecil. Uji kompresi ini amat penting dilakukan karena di masa kini file berbentuk MP3 lebih populer digunakan sehingga cukup besar kemungkinan audio *watermark* ini akan mengalami perubahan format pada implementasi sesungguhnya.

3.5 Perhitungan BER, SNR, dan ODG

Pada tahap ini, akan di hitung nilai-nilai yang menjadi parameter ketahanan sebuah audio *watermark* yang sudah di uji dengan berbagai macam serangan. Untuk parameter pengukuran kualitas dan ketahanan audio adalah ODG, SNR, dan SDG. Berikut ini adalah tabel skala dari ODG :

Tabel 3.1 Skala *Objective Different Grade*

SDG Scale	ODG Scale	Imperceptibility
0	0	<i>Imperceptible</i>
-1	-1	<i>Perceptible But Not Annoying</i>
-2	-2	<i>Slightly Annoying</i>
-3	-3	<i>Annoying</i>
-4	-4	<i>Very Annoying</i>

Berikutnya adalah untuk perhitungan nilai BER (*Bit Error Ratio*) dan SNR (*Signal to Noise Ratio*) sebenarnya sudah dapat di lakukan otomatis dari metode yang sudah dijalankan pada aplikasi MATLAB. Hasil akhir BER dan SNR dari sistem akan terbuka di dalam *Microsoft Excel* secara otomatis setelah proses ekstraksi selesai dilakukan. Untuk perhitungan rumus secara manual untuk mencari nilai BER dan SNR adalah sebagai berikut :

$$SNR(S_w, S_o) = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_n |s_o(n)|^2}{\sum_n |s_w(n) - s_o(n)|^2} \quad (7)$$

Dimana $S_w(n)$ = *watermarked audio*

Dan $S_o(n)$ = *host audio*

Dan $S_o(n)$ = *host audio*

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit yang salah antara } w_e \text{ dan } w_o}{\text{Jumlah bit } w_o} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana $w_e(n)$ = *watermarked audio*

Dan $w_o(n)$ = *host audio*

4. Analisis

Pada bab ini akan membahas pengujian dan analisis *Audio Watermarking* yang telah dilakukan. Berdasarkan hasil dari setiap parameter yang didapat, audio tersebut selanjutnya akan diberikan beberapa serangan, lalu akan dilakukan perbandingan setelah dilakukan optimasi menggunakan Algoritma Genetika. Pengujian akan dilakukan terhadap *host file* berekstensi *.wav, yang memiliki frekuensi sampling 44100 Hz, dan memiliki channel mono. Jenis audio yang akan digunakan ada lima macam, yaitu Percakapan, *Rock*, *Akustik*, *Psychedelic*, dan *RnB*. Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian yang akan dibahas :

1. Pengujian pertama dilakukan dengan cara melakukan proses *Audio Watermarking*, lalu dianalisis kualitas *Audio Watermarking* tersebut tanpa dilakukan optimasi oleh Algoritma Genetika. Pada pengujian ini akan dilihat pengaruh nilai *nblock*, *gain*, level dekomposisi *wavelet*, *threshold*, dan nilai *key*. Setelah itu akan dilakukan serangan dan dilihat ketahanan *watermark* pada tiap jenis audio dan serangan.
2. Pengujian kedua dilakukan untuk mengoptimasi sistem *Audio Watermarking* yang telah dilakukan menggunakan Algoritma Genetika dan akan diambil parameter terbaik dari setiap jenis audio pada tiap jenis serangan.
3. Pada pengujian ketiga akan diambil parameter dari pengujian kedua, lalu diberikan serangan berupa MP3 dan *Resampling*.

4.1 Pengaruh Tiap Parameter pada Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan tiap parameter pada keluaran sistem. Parameter yang digunakan pada pengujian ini yaitu *nblock*, *gain*, tipe *wavelet*, level dekomposisi *wavelet*, *threshold*, jumlah bit kuantisasi yang akan disimpan dalam file, dan nilai *key* terhadap kualitas *Audio Watermarking* dan ketahanan data *Watermark* setelah dilakukan ekstraksi tanpa dilakukan penyerangan. Dari pengujian ini akan didapatkan hasil dalam empat parameter, yaitu SNR, ODG, BER, dan kapasitas.

4.1.1. Pengaruh Nblock Terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Pada pengujian ini dilakukan proses *watermarking* tanpa serangan. Pada pengujian ini diambil sebuah *sample*, digunakan *file* audio berupa percakapan dengan nilai *gain* sebesar 0.1, level dekomposisi 1, nilai *threshold* 0.1, dan nilai *key* 8.

Tabel 4.1 Pengaruh Nblock Pada Keluaran Sistem *Audio Watermarking* Pada Percakapan

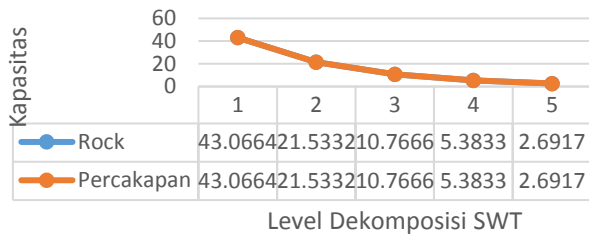
nblock	ODG	SNR	BER	Kapasitas (bit/s)
10	-2.222	6.4021	0.34	43.0664
11	-2.205	11.0404	0.22	21.5332
12	-2.208	11.5086	0.18	10.7666
13	-	11.7481	0.24	5.3833
14	-	10.5361	0.26	2.6917

Dari tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa nilai *nblock* mempengaruhi seluruh parameter keluaran. Semakin tinggi nilai *nblock* maka semakin tinggi pula nilai ODG, namun tidak berlaku pada nilai SNR yang cenderung memuncak pada nilai *nblock* sebesar 13, dan nilai BER yang juga cenderung memiliki nilai acak. Namun nilai kapasitas memiliki tren turun, dan ini juga terjadi pada audio lain yang digunakan pada tugas akhir ini. Berikut akan diambil *sample* lain, yaitu file musik dengan jenis *Rock* dengan nilai *gain* sebesar 0.1, level dekomposisi 1, nilai *threshold* 0.1, dan nilai *key* 8.

Tabel 4.2 Pengaruh Nblock Pada Keluaran Sistem *Audio Watermarking* Pada Musik Jenis *Rock*

nblock	ODG	SNR	BER	Kapasitas (bit/s)
10	-	13.5123	0.18	43.0664
11	-	14.0883	0.28	21.5332
12	-	17.2913	0.24	10.7666
13	-1.845	19.1329	0.28	5.3833
14	-	21.1992	0.28	2.6917

Dari tabel 4.2 seiring naiknya nilai *nblock* didapatkan nilai ODG yang cenderung turun, nilai SNR yang naik, dan nilai BER yang memiliki tren naik, namun nilai kapasitas yang sama persis dengan file audio percakapan pada tabel 4.1 Hal ini menunjukkan bahwa nilai kenaikan nilai *Nblock* mempengaruhi seluruh parameter, namun pada parameter kapasitas, nilai-nilai tersebut konstan pada setiap jenis audio.



Gambar 4.1 Grafik Perubahan Nilai Kapasitas Pada File Audio Percakapan dan Musik Rock

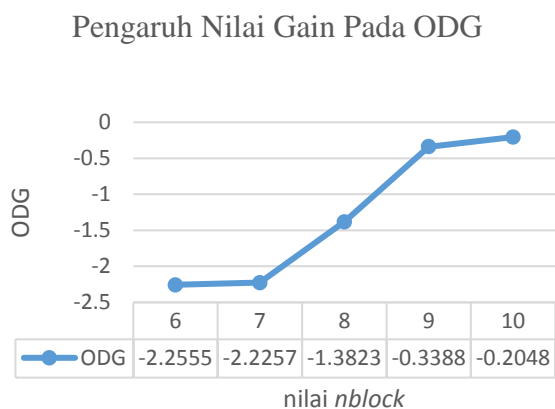
4.1.2. Pengaruh Gain Terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Pada pengujian ini dilakukan proses *watermarking* tanpa serangan. Pada pengujian ini diambil sebuah *sample*, digunakan *file* audio berupa percakapan dengan nilai *nblock* sebesar 10, level dekomposisi 1, nilai *threshold* 0.1, dan nilai *key* 8.

Tabel 4.3 Pengaruh Gain Pada Keluaran Sistem Audio Watermarking Pada Percakapan

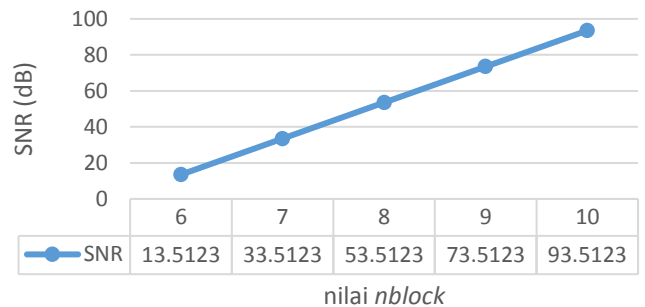
Gain	ODG	SNR	BER	Kapasitas (bit/s)
0.1	2.2555	13.5123	0.18	43.0664
0.01	2.2257	33.5123	0.26	43.0664
0.001	1.3823	53.5123	0.28	43.0664
0.0001	0.0038	73.5123	0.42	43.0664
0.00001	0.2048	93.5123	0.46	43.0664

Dari tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa nilai gain mempengaruhi nilai ODG, SNR, dan BER sedangkan nilai kapasitas stabil. Semakin kecil nilai gain, maka semakin kecil pula ODG, namun tidak untuk SNR dan BER yang semakin besar nilainya jika nilai gain semakin kecil.



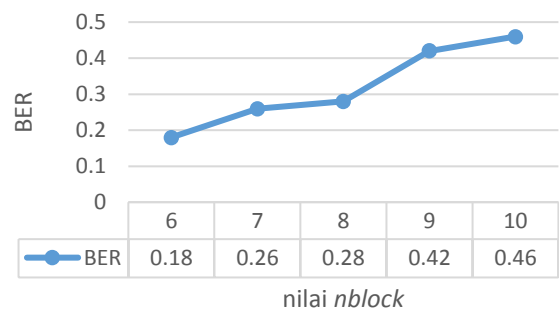
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Nilai Gain Pada ODG

Pengaruh Nilai Gain Pada SNR



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Nilai Gain Pada SNR

Pengaruh Nilai Gain Pada BER



Gambar 4.4 Pengaruh Nilai Gain Pada BER

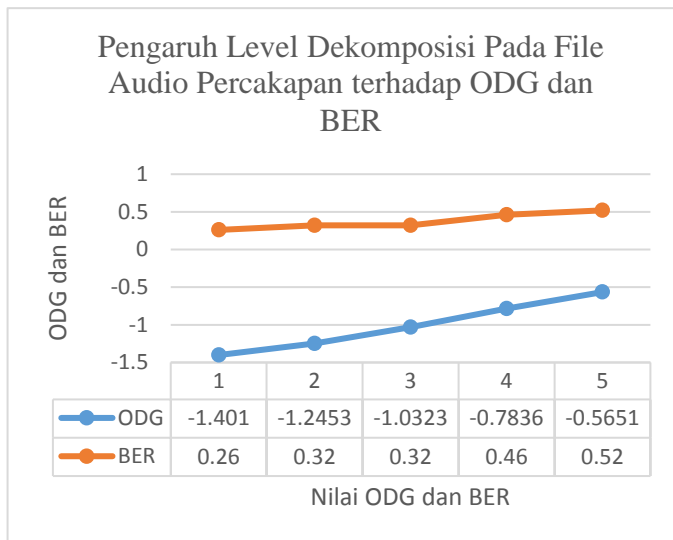
4.1.3. Pengaruh Level Dekomposisi Terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Pada pengujian ini dilakukan proses *Watermarking* tanpa serangan. Pada pengujian ini diambil sebuah *sample*, digunakan *file* audio berupa musik jenis Rock dengan nilai *nblock* sebesar 10, dengan *gain* 0.001, nilai *threshold* 0.1, dan nilai *key* 8.

Tabel 4.4 Pengaruh Level Dekomposisi Terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking Pada Percakapan

Level Dekomposisi	ODG	SNR	BER	Kapasitas (bit/s)
1	-1.401	53.4241	0.26	43.0664
2	1.2453	56.3411	0.32	43.0664
3	1.0323	59.2523	0.32	43.0664
4	0.7836	62.1571	0.46	43.0664
5	0.5651	65.5043	0.52	43.0664

Dari tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa level dekomposisi mempengaruhi ODG, SNR, dan BER, sedangkan kapasitas stabil. Semakin tinggi level dekomposisi maka semakin besar pula BER dan SNR, dan semakin kecil nilai ODG.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Level Dekomposisi Pada File Audio Percakapan Terhadap ODG dan BER

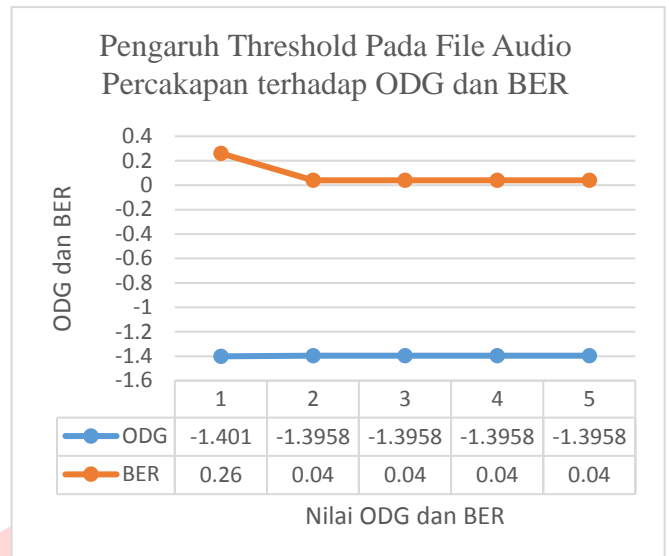
4.1.4. Pengaruh Threshold Terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Pada pengujian ini dilakukan proses *watermarking* tanpa serangan. Pada pengujian ini diambil sebuah *sample*, digunakan *file* audio berupa musik *Rock* dengan nilai *nblock* sebesar 10, dengan *gain* 0.001, level dekomposisi 1, dan nilai *key* 8.

Tabel 4.5 Pengaruh *Threshold* Terhadap Kinerja Sistem *Audio Watermarking*

Nilai Threshold	ODG	SNR	BER	Kapasitas (bit/s)
0.1	-1.401	53.4241	0.26	43.0664
0.01	1.3958	53.5153	0.04	43.0664
0.001	1.3958	53.5153	0.04	43.0664
0.0001	1.3958	53.5153	0.04	43.0664
0.00001	1.3958	53.5153	0.04	43.0664

Dari tabel 4.5 dapat disimpulkan bahwa nilai ODG, SNR, dan BER menjadi konstan setelah nilai *threshold* diturunkan dari 0.1 ke 0.01, sedangkan kapasitas tetap sama berapapun nilai *threshold*-nya. Pada penurunan nilai *threshold* juga didapat nilai BER yang turun secara signifikan mendekati nol, yaitu 0.04.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Nilai *Threshold* Pada File Audio Percakapan terhadap ODG dan BER

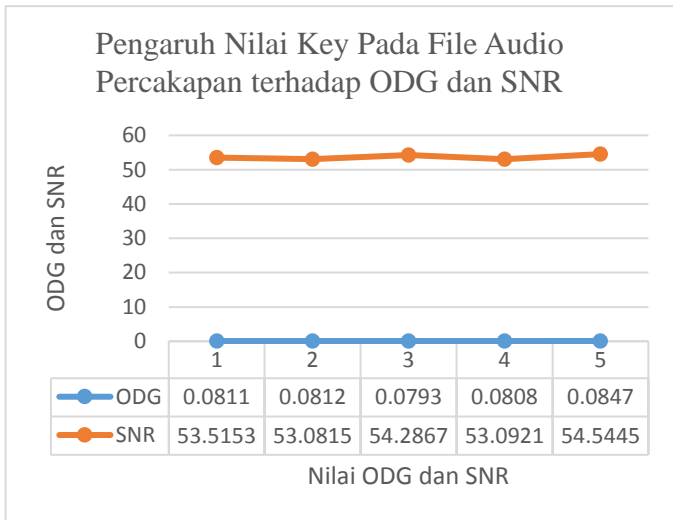
4.1.5. Pengaruh Key Terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Pada pengujian ini dilakukan proses *watermarking* tanpa serangan. Pada pengujian ini diambil sebuah *sample*, digunakan *file* audio berupa musik *Rock* dengan nilai *nblock* sebesar 10, dengan *gain* 0.001, level dekomposisi 1, dan nilai *threshold* 0.01.

Tabel 4.6 Pengaruh Nilai *Key* Terhadap Kinerja Sistem *Audio Watermarking*

Nilai Key	ODG	SNR	BER	Kapasitas (bit/s)
8	0.811	53.4241	0	43.0664
16	0.0812	53.0815	0	43.0664
32	0.0793	54.2867	0	43.0664
64	0.0808	53.0921	0	43.0664
128	0.0847	54.5445	0	43.0664

Dari tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa nilai *key* mempengaruhi nilai ODG dan SNR walaupun tidak signifikan. Sedangkan nilai BER dan kapasitas tidak mengalami perubahan.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Nilai Key Pada File Audio Watermarking Terhadap ODG dan SNR

4.2 Perbandingan Hasil Serangan Sebelum dan Sesudah Optimasi

Berdasarkan pada hasil pengujian yang telah dilakukan, seluruh jenis file host yang sudah diberikan watermark yang kemudian diberikan serangan MP3 maupun Resampling sangat rentan terhadap serangan-serangan tersebut. Hal ini terbukti dari nilai BER yang tidak sama dengan nol. Oleh karena itu dilakukan optimasi sehingga didapatkan parameter-parameter yang optimal yang tahan terhadap serangan-serangan yang akan diberikan. Setelah didapatkan parameter-parameter yang didapatkan hasil dari proses optimasi menggunakan Algoritma Genetika, akan dipilih parameter terbaik. Setelah dioptimasi, audio akan menghasilkan nilai ODG, BER, SNR dan kapasitas yang berbeda dibandingkan sebelum optimasi. Dari proses optimasi tersebut diambil parameter terbaik yang memiliki nilai BER mendekati nol, SNR yang paling besar, ODG yang mendekati nol, dan kapasitas terkecil. Berikut perbandingan nilai-nilai tersebut :

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Sebelum Optimasi Pada Serangan MP3

Jenis File Host	ODG	SNR	BER	C
Percakapan	0.1274	51.0165	0.56	10.7666
Rock	0.0793	54.2867	0.52	43.0664
Akustik	0.098	58.2219	0.5	5.3833
Psychedelic	0.1856	54.4041	0.4	10.7666
RnB	0.1676	58.2883	0.32	5.3833

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Setelah Optimasi Pada Serangan MP3

Jenis File Host	ODG	SNR	BER	C
Percakapan	0.134503	48.31169	0	10.7666
Rock	0.069769	42.89883	0	344.5313
Akustik	0.14846	53.88078	0	43.06641
Psychedelic	0.17119	45.80706	0	10.7666
RnB	0.139334	48.25728	0	10.7666

Berdasarkan tabel 4.7 dan 4.8 didapatkan hasil yang sangat baik. Nilai BER setelah diptomasi sudah sempurna, yaitu bernilai nol. Nilai SNR juga sudah sangat baik, sama seperti nilai ODG yang imperceptible. Hal ini membuktikan bahwa proses optimasi meningkatkan ketahanan watermark terhadap serangan MP3, dimana serangan MP3 tidak mengganggu kualitas audio.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sebelum Optimasi Pada Serangan Resampling

Jenis File Host	ODG	SNR	BER	C
Percakapan	0.1274	51.0165	0.58	10.7666
Rock	0.0793	54.2867	0.5	43.0664
Akustik	0.098	58.2219	0.5	5.3833
Psychedelic	0.1856	54.4041	0.6	10.7666
RnB	0.1676	58.2883	0.58	5.3833

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Setelah Optimasi Pada Serangan Resampling



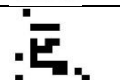


Jenis File Host	ODG	SNR	BER	C
Percakapan	-2.0436	17.7342	0.2	86.1328
Rock	-2.06473	23.87202	0.16	172.2656
Akustik	-2.8413	1.9134	0.05	86.1328
Psychedelic	0.120643	38.32743	0.18	21.5332
RnB	-2.3145	11.4740	0.04	172.2656



Berdasarkan tabel 4.9 dan 4.10 didapatkan hasil yang cukup baik, walaupun nilai BER tidak sama dengan nol, tetapi nilai BER menurun mendekati nol. Nilai ODG dan SNR mengalami penurunan, hal ini diperlukan mengingat bahwa watermarking tidak bisa memiliki nilai sempurna secara keseluruhan, karena itu hasil optimasi dipilih parameter dengan hasil BER yang paling kecil dengan mengorbankan ODG dan SNR. Hal ini membuktikan bahwa proses optimasi meningkatkan ketahanan watermark terhadap serangan Resampling, walaupun nilai BER tidak sama dengan nol.

Dari pengujian yang dilakukan pada bab 4 didapatkan parameter input terbaik dari masing-masing serangan pada masing-masing audio. Lalu dari nilai-nilai tersebut dilakukan proses ekstraksi untuk melihat apakah watermark yang sudah disisipkan dan diekstrak kembali memiliki hasil yang baik atau buruk.

Tabel 4.11 Hasil Ekstraksi Watermark

Jenis Serangan	Jenis Audio	BER	Watermark Ekstraksi
MP3	Percakapan	0	LI
	Rock	0	LI
	Akustik	0	LI

	<i>Psychedelic</i>	0	
	<i>RnB</i>	0	
<i>Resampling</i>	Percakapan	0.21	
	<i>Rock</i>	0.22	
	Akustik	0.23	

	<i>Psychedelic</i>	0.24	
	<i>RnB</i>	0.23	

5. Kesimpulan

1. Dari bab 4 dapat ditarik kesimpulan bahwa metode *watermarking* menggunakan metode SWT, SS, dan dioptimasi dengan Algen dapat dengan baik menahan serangan kompresi MP3, dibuktikan dengan nilai BER secara keseluruhan bernilai sempurna (nol), dan nilai SNR yang berada diatas 20 dan ODG dalam kategori *imperceptible* (tidak dapat dideteksi oleh indera manusia).
2. Nilai *nblock* mempengaruhi hasil keluaran kapasitas, semakin besar nilai *nblock*, maka semakin kecil kapasitasnya.
3. Nilai *gain* berbanding terbalik dengan SNR dan BER, semakin kecil *gain* maka semakin besar SNR dan BER, namun nilai tersebut berbanding lurus dengan ODG dimana semakin kecil *gain* maka nilai ODG semakin mendekati nol (*Imperceptible*).
4. Level dekomposisi mempengaruhi ODG, SNR dan BER. Level dekomposisi berbanding lurus dengan ODG, SNR dan BER. Semakin besar level dekomposisi maka semakin besar pula nilai ODG, BER dan SNR
5. Nilai *Threshold* tidak begitu signifikan mempengaruhi ODG, SNR, dan kapasitas, namun berbanding lurus dengan nilai BER.

REFERENSI

- [1] C. M. Pun and X. C. Yuan, "Robust Segments Detector for De-Synchronization," *IEEE TRANSACTIONS ON AUDIO, SPEECH, AND LANGUAGE PROCESSING*, vol. 21, pp. 2412-2423, November 2013.
- [2] Y. Chen, G. Gao, Y. Liu and B. Lv, "A Cross Spread Spectrum Audio Watermarking Robust to Acoustic," in *Control Conference (CCC), 2017 36th Chinese*, Dalian, 2017.
- [3] M. Ketcham and S. Vongradhip, "Intelligent Audio Watermarking using Genetic Algorithm in DWT Domain," *Proceedings of World Academy of Science: Engineering and Technology*, vol. I, no. 2, pp. 336-341, April 2007.
- [4] J. E. Fowler, "The Redundant Discrete Wavelet Transform and Additive Noise," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, no. 9, pp. 629-632, September 2005.
- [5] D. L. Ward, "REDUNDANT DISCRETE WAVELET TRANSFORM BASED SUPER-RESOLUTION USING SUB-PIXEL IMAGE REGISTRATION," *AIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH SCHOOL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. 1, no. 1, pp. 1-72, March 2003.
- [6] S. Padhiary, "Digital Watermarking Based on Redundant Discrete Wavelet," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 431-434, February 2013.
- [7] J. P. Mosiganti, J. M. Kezia and V. K. V., "Morphological Multiscale Stationary Wavelet Transform Based Texture Segmentation," *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 6, no. 8, pp. 32-39, July 2014.
- [8] S. Sedaghatnejad and M. Farhang, "Detectability of Chaotic Direct-Sequence," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 4, no. 6, pp. 589-592, December 2015.
- [9] R. M. Nugraha, "Implementasi Direct Sequence Spread Spectrum Steganography pada Audio Watermarking," Tugas Akhir, Fakultas Teknik Elektro dan Informatika, ITB, Bandung, 2010.
- [10] P. Zhang, Y. Li, J. Jiang, Y. Fan, Q. Hao and X. Ma, "A New Informed Spread Spectrum Embedding," in *2016 IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP)*, Chengdu, 2016.

- [11] M. Sadegzadeh and M. Taherbaghal, "A New Method for Watermarking using Genetic Algorithms," in *International Conference on Machine Learning, Electrical and Mechanical Engineering (ICMLEME'2014)*, Dubai, 2014.
- [12] D. Rosari, Analisis Optimasi Steganografi Audio Berbasis MDCT dengan Algoritma Genetika, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, Bandung, 2016.

