

## PERANCANGAN DAN ANALISIS OPTIMASI PADA AUDIO WATERMARKING DENGAN METODE FFT DAN SPREAD SPECTRUM WATERMARK BERBASIS LOG COORDINATE MAPPING DENGAN ALGORITMA GENETIKA

*Analysis and Planning Optimization of Watermarking Audio with FFT Method and Watermark Spread Spectrum as a base Log Coordinate Mapping With Genetic Algorithm*

Hengki Setiadi<sup>1</sup>, Gelar Budiman, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Suci Aulia, S.T.,M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

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

[hengkisetiadi95@gmail.com](mailto:hengkisetiadi95@gmail.com), [gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id](mailto:gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id),

[sucia@tass.telkomuniversity.ac.id](mailto:sucia@tass.telkomuniversity.ac.id)

---

### ABSTRAK

Penyebaran informasi dan pertukaran data secara ilegal ini telah menimbulkan masalah seperti perlindungan hak cipta, autentifikasi, menjadi keuntungan intelektual bagi pihak yang tidak berwenang yang berbentuk digital seperti video, citra, dan audio. Maka perlunya dilakukan pengembangan teknologi yang bermanfaat serta bisa melakukan pengamanan lebih baik lagi untuk kedepannya untuk melindungi hak cipta dari penyebaran informasi dan data secara ilegal ini demi mengurangi pihak yang tidak berwenang dalam mengambil keuntungan.

Metode watermarking adalah solusi dari masalah penyebaran informasi dan data secara ilegal ini. Dengan dikembangkannya metode ini diharapkan pihak yang memiliki hak cipta bisa menemukan pelaku kejahatan penyebaran informasi dan data secara ilegal ini. *Watermarking* adalah suatu metode yang digunakan untuk menyembunyikan data digital tanpa bisa dilihat atau didengar oleh indera penglihatan atau pendengaran. *Watermaking* diaplikasikan untuk melindungi Hak pada citra digital khususnya citra gambar. *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah metode yang digunakan pada watermarking untuk mentransformasikan domain waktu ke domain frekuensi. *Log Coordinate Mapping* (LCM) adalah sistem yang digunakan untuk melakukan penyisipan watermarking dan ekstraksi watermarking atau pendeteksian. Sedangkan *Spread Spectrum* merupakan metode untuk menyebarkan sinyal komunikasi di seluruh spektrum frekuensi.

Kata kunci: *FFT, Watermarking, Spread Spectrum, Log Coordinate Mapping, Algorithm Genetic*

---

### ABSTRACT

*Dissemination of information and exchange of data illegally has caused problems such as copyright protection, authentication, it becomes the intellectual advantage for unauthorized digital form such as video, image, and audio. Hence the need for the development of useful technology and can perform even better security for the future in order to protect the copyright of the dissemination of information and data illegally in order to reduce unauthorized taking advantage.*

*Watermarking method is the solution of the problem of this dissemination information and illegally data. With the development of this method is expected to side who own the copyrights can find the perpetrators of the dissemination of information and illegally data. Watermarking is a method used to hidden digital data without being able to be seen or heard by the senses of sight or hearing. Watermarking is applied to protect the Rights of the digital image, especially the image of the picture. Fast Fourier Transform (FFT) is the watermarking method used to transform the time domain to the frequency domain. Log Coordinate Mapping (LCM) is a system used to perform the embedding and extraction watermarking or watermarking detection. While Spread Spectrum is a method to spread the communication signal across the frequency spectrum.*

Keywords : *FFT, Watermarking, Spread Spectrum, Log Coordinate Mapping, Algorithm Genetic*

---

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring berkembangnya waktu teknologi pun semakin berkembang pesat seperti internet yang memungkinkan penyebaran informasi dan pertukaran data menjadi sangat luas sehingga menyebabkan

banyaknya pemalsuan data secara ilegal. Penyebaran informasi dan pertukaran data secara ilegal ini telah menimbulkan masalah seperti perlindungan hak cipta, autentifikasi, menjadi keuntungan intelektual bagi pihak yang tidak berwenang yang berbentuk digital seperti video, citra, dan audio. Maka perlunya dilakukan pengembangan teknologi yang bermanfaat serta bisa melakukan pengamanan lebih baik lagi untuk kedepannya untuk melindungi hak cipta dari penyebaran informasi dan data secara ilegal ini demi mengurangi pihak yang tidak berwenang dalam mengambil keuntungan. Metode watermarking adalah solusi dari masalah penyebaran informasi dan data secara ilegal ini. Dengan dikembangkannya metode ini diharapkan pihak yang memiliki hak cipta bisa menemukan pelaku kejahatan penyebaran informasi dan data secara ilegal ini.

*Watermarking* adalah teknik yang sering digunakan untuk menangani masalah ini. *Watermarking* adalah suatu metode yang digunakan untuk menyembunyikan atau menyisipkan data digital rahasia tanpa bisa dilihat atau didengar oleh indera penglihatan atau pendengaran manusia dan hanya mampu diakses oleh orang tertentu. Pada tugas akhir ini akan digunakan *blind watermarking* yang berbasis *Log Coordinate Mapping* dengan metode *Fast Fourier Transform (FFT)* dan *Spread Spectrum Watermark*, lalu akan dioptimasi menggunakan Algoritma Genetika.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Audio Watermarking

Audio watermarking adalah suatu teknik untuk menyembunyikan data/informasi tertentu (biasanya bersifat rahasia) ke dalam suatu data audio, tetapi indera manusia tidak bisa menyadari data tambahan pada data host nya (baik indera pendengaran maupun indera penglihatan kita), sehingga seolah – olah tidak ada perbedaan antara audio host sebelum dan sesudah di proses watermarking, lalu mampu menghadapi pengrusakan atau serangan sampai pada tahap tertentu[7].

### 2.2 Fast Fourier Transform

Di dalam metode domain frekuensi, *Fast Fourier Transform (FFT)* sudah sangat dikenal. Diantara transformasi *fourier*, *Fast Fourier Transform (FFT)* telah sering digunakan untuk mengurangi beban komputasi. Watermark tertanam dalam fitur LCM, tetapi sebenarnya tertanam dalam koefisien fourier yang dipetakan melalui LCM. *Fast Fourier Transform (FFT)* bisa juga digunakan untuk menanamkan watermark untuk mengambil keuntungannya agar bisa menolak distorsi kecil dalam domain waktu. Untuk memberikan kualitas persepsi yang lebih baik dan ketahanan dari serangan yang diberikan dengan nilai dalam meningkatkan kompleksitas komputasi sehubungan dengan pendekatan melalui waktu domain digunakanlah metode *Fast Fourier Transform (FFT)*[9].

### 2.3 Spread Spectrum

*Spread Spectrum (SS) watermarking* dianggap teknik yang paling populer untuk *watermarking digital*[9]. Menyebarkan *watermark* seluruh spektrum dari sinyal host, sehingga energi sinyal di setiap bit frekuensi sangat kecil dan hampir tidak terdeteksi. Dengan cara ini, *watermark* yang disisipkan dapat memiliki ukuran besar, keamanan serta ketahanan[11]. Namun, distorsi sinyal pada proses *watermarking* dapat dengan mudah dirasakan oleh persepsi manusia untuk *file audio digital*. Sehingga amplitud shapping dari threshold masking model *psychoacoustic* sering digunakan untuk menjaga *watermark* tidak terdengar[12].

### 2.4 Log Coordinate Mapping

*Log Coordinate Mapping* bisa dianggap sebuah alat yang sangat ampuh yang berkaitan dengan masalah skala. Sebuah logaritma bisa mengkonversi skala ke dalam pergeseran dalam sumbu algoritma. Hal ini akan digunakan ketika panjang klip audio bervariasi setelah penanaman acak. Frekuensinya haru dinormalisasi setelah transformasi fourier (Fourier Transform)[14][2].

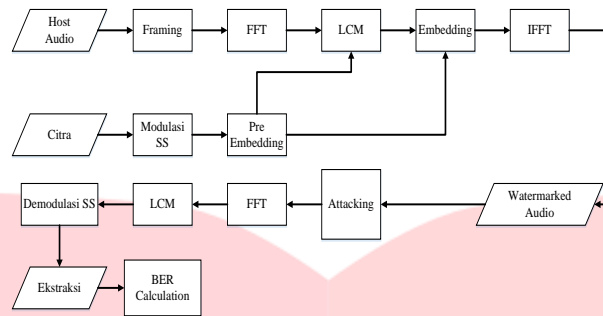
### 2.5 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika merupakan metode *adaptive* yang biasanya digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang berada dalam makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dalam sebuah populasi yang alami secara lambat laun akan mengikuti prinsip seleksi alam atau bisa disebut “siapa yang kuat maka dia akan bertahan”. Dengan meniru prinsip ini maka algoritma genetika dapat digunakan untuk mencari solusi permasalahan – permasalahan dalam dunia nyata.

## 3. Pembahasan

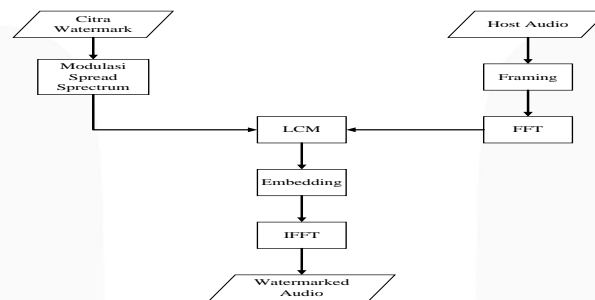
### 3.1 Perancangan Sistem serta Proses Penyisipan dan Ekstraksi

Secara keseluruhan blok diagram tahapan dari proses perancangan sistem direpresentasikan sebagai berikut :



**Gambar 3.1** Diagram Alir Perancangan Sistem *Audio Watermarking* [2]

Pada Gambar 3.1 berupa skema yang akan menghasilkan data audio digital yang kuat terhadap beberapa serangan signal processing sehingga bisa menjadi suatu sistem perlindungan terhadap data audio. Proses perancangan kali ini menggunakan metode transformasi Fast Fourier Transform, dimana data audio akan diubah dahulu ke dalam domain frekuensi agar lebih mudah untuk dilakukannya. Lalu metoda penyisipan menggunakan Spread spectrum dan log coordinate mapping agar data audio dapat tahan terhadap beberapa serangan. Setelah dilakukan penggabungan dari beberapa metode tersebut data audio yang sudah terwatermark akan di optimasi menggunakan algoritma genetika agar performansi hasilnya lebih maksimal. Proses akan dilakukan menjadi beberapa tahap seperti proses penyisipan watermark yang bertujuan untuk menambahkan tanda watermark ke dalam audio host dan penanda ini berupa citra, dan ada juga proses ekstraksi watermark untuk mengambil kembali data watermark dari file audio host, baru setelah itu dilakukan optimasi dengan menggunakan algoritma genetika.

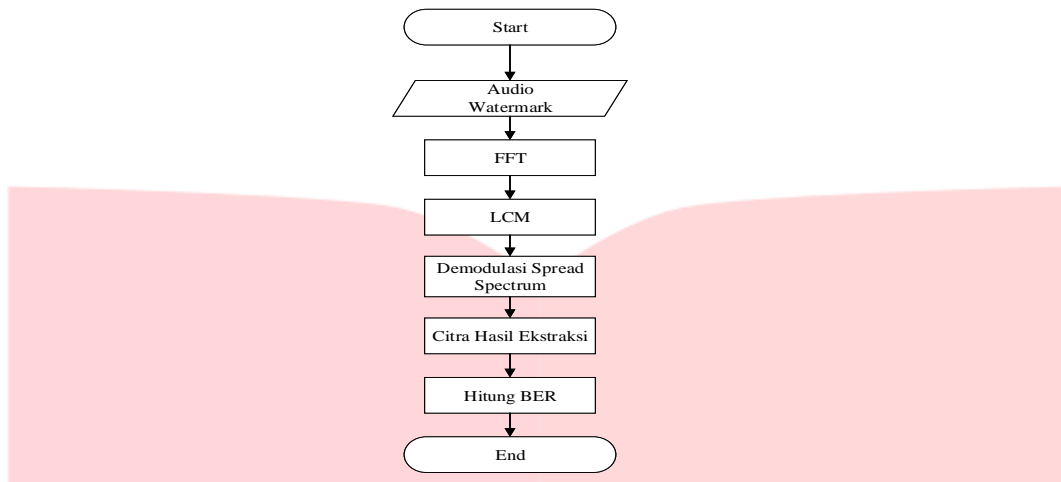


**Gambar 3.2** Diagram Alir *Watermarking Embedding* [2]

Pada Gambar 3.2 proses penyisipan akan diawali dengan menginput file audio berupa format (.wav). Kemudian file audio tersebut akan melewati proses transformasi yaitu *Fast Fourier Transform* dimana data akan diubah dari bentuk semulanya domain waktu menjadi domain frekuensi.

Citra yang akan disisipkan pertama-tama akan melewati proses *Spead Spectrum*. Proses ini akan menyebarkan data watermark di seluruh spektrum dari sinyal host nya, sehingga energi sinyal di setiap bit frekuensi sangat kecil dan hampir tidak terdeteksi. Dengan cara ini watermark yang disisipkan dapat memiliki ukuran yang besar, keamanan serta ketahanan yang besar.

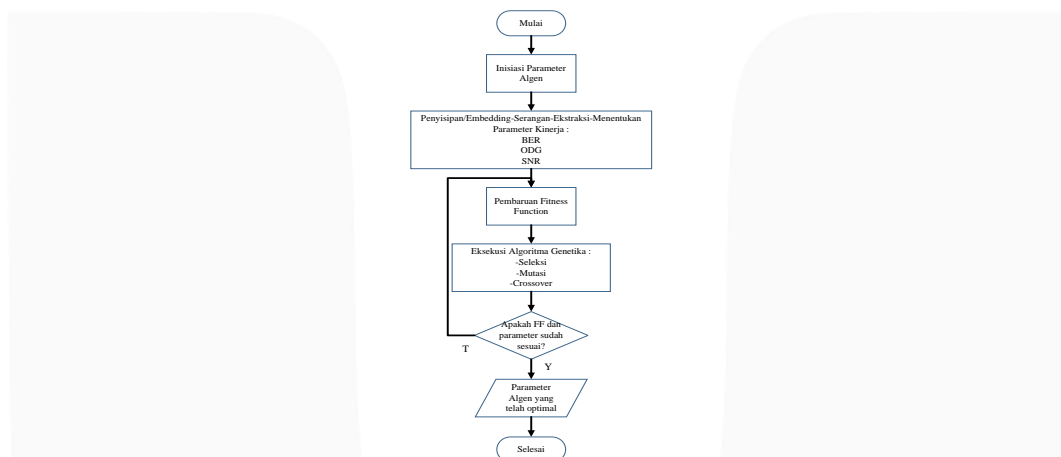
Setelah file audio asli sebelumnya melewati proses transformasi *Fast Fourier Transform* (FFT), file audio akan memasuki proses *Log Coordinate Mapping* (LCM) dimana file audio akan dipetakan sebelum dilakukan proses penyisipan. Setelah file audio tersebut dipetakan maka, file citra yang sebelumnya sudah disebar di seluruh spektrum.



**Gambar 3.3** Diagram Alir *Watermarking Ekstraksi* [2]

Pada Gambar 3.3 merupakan proses ekstraksi hampir sama dengan proses embedding, sinyal audio asli yang sudah terwatermark sudah terwatermark akan di proses dengan *Fast Fourier Transform* (FFT), *Spread Spectrum*, dan *Log Coordinate Mapping*. Setelah diekstraksi akan diperoleh sebuah file citra dari *audio host*. Kemudian citra yang sudah diperoleh tersebut akan dibandingkan kesamaannya dengan citra asli yang sebelum disisipkan dengan *file audio* melalui perhitungan *Bit Error Rate* (BER).

### 3.2 Desain Model Algoritma Genetika



**Gambar 3.4** Diagram Alir Algoritma Genetika [15]

Setelah melakukan embedding dan ekstraksi barulah proses Algoritma Genetika dijalankan. Pertama yang dilakukan dalam algoritma genetika yaitu proses inialisasi populasi, dimana populasi yang dimaksud adalah kumpulan dari beberapa nilai solusi yang memungkinkan dari suatu permasalahan. Pada tahap selanjutnya yaitu tahap penyisipan watermark, pemberian serangan pada watermark, dan mengekstraksi pada watermarked audio. Setelah itu barulah dilakukan proses eksekusi algoritma genetika yang terdiri dari Fitness Function, Seleksi, Crossover, dan Mutasi.

## 4. Analisis

### 4.1 Pengaruh beberapa jenis parameter terhadap kinerja sistem audio watermarking

Berikut ini adalah data hasil pengujian untuk mengetahui pengaruh parameter *alpha*, *key*, frekuensi modulasi, area penyisipan (P1 dan P2) terhadap kualitas *audio watermarking* serta ketahanan *watermark* dari hasil ekstraksi tanpa dilakukan serangan. Dalam pengujian kali ini akan didapatkan hasil berupa BER, ODG, SNR, dan kapasitas.

Tabel 4.1 Pengaruh alpha terhadap kinerja sistem

| ALPHA | SNR     | ODG     | BER |
|-------|---------|---------|-----|
| 11    | 33.3791 | -0.5108 | 0   |
| 12    | 32.6237 | -0.5615 | 0   |
| 13    | 31.9288 | -0.6121 | 0   |
| 14    | 31.2856 | -0.6585 | 0   |
| 16    | 30.1267 | -0.7562 | 0   |

Tabel 4.2 Pengaruh nilai key terhadap kinerja sistem

| Key | SNR     | ODG     | BER    |
|-----|---------|---------|--------|
| 16  | 32.6236 | -0.8332 | 0      |
| 17  | 32.6237 | -0.5615 | 0      |
| 18  | -       | -       | 0.0025 |
| 19  | 32.6238 | -0.7886 | 0      |
| 20  | 32.6236 | -0.8108 | 0      |

Tabel 4.3 Pengaruh nilai fm terhadap kinerja sistem

| Fm   | SNR     | ODG     | BER |
|------|---------|---------|-----|
| 0.5  | 32.6249 | -0.5164 | 0   |
| 1    | 32.6249 | -0.5164 | 0   |
| 1.3  | 32.6336 | -0.5110 | 0   |
| 1.5  | 32.6249 | -0.5190 | 0   |
| 2    | 32.6249 | -0.5164 | 0   |
| 24.4 | 32.6326 | -0.4967 | 0   |
| 25   | 32.6315 | -0.5050 | 0   |

Tabel 4.4 Pengaruh nilai p1 terhadap kinerja sistem

| P1   | SNR     | ODG     | BER     |
|------|---------|---------|---------|
| 0.1  | 32.8492 | -0.4355 | 0.00125 |
| 0.13 | 33.5782 | -0.4264 | 0       |
| 0.15 | 32.6326 | -0.4967 | 0       |

Tabel 4.5 Pengaruh nilai p2 terhadap kinerja sistem

| P2   | SNR     | ODG     | BER |
|------|---------|---------|-----|
| 0.36 | 32.8831 | -0.4885 | 0   |
| 0.37 | 33.0669 | -0.4417 | 0   |
| 0.40 | 33.5782 | -0.4264 | 0   |
| 0.41 | 33.7365 | -0.4197 | 0   |
| 0.42 | 33.8891 | -0.3877 | 0   |
| 0.43 | 34.0366 | -0.3840 | 0   |
| 0.44 | 34.1783 | -0.3947 | 0   |

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai alpha mempengaruhi nilai SNR dan ODG dari *watermarked audio*. Semakin tinggi nilai alpha, maka nilai SNR dan ODG akan semakin rendah. Dengan semakin rendahnya nilai SNR dan ODG tentu kualitas audio berkurang, tetapi akan semakin tahan dengan serangan. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai key ternyata mempengaruhi nilai SNR, ODG, dan BER dari *watermarked audio*. Jadi pada analisis parameter key ini didapatkan hasil SNR, ODG, dan BER yang paling baik pada nilai key sebesar 17. Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa fm mempengaruhi nilai SNR dan ODG dari *watermarked audio*. Dari data diatas didapatkan nilai SNR dan ODG terbaik yaitu saat parameter fm bernilai 24,4. Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai p1 mempengaruhi nilai SNR, ODG, dan BER dari *watermarked audio*. Ketika nilai p1 naik lagi menjadi 0.15 hasilnya nilai SNR dan ODG tidak sebagus pada saat nilai p1=0.13. Pada Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai p2 mempengaruhi nilai SNR dan ODG dari *watermarked audio*. Nilai SNR dan ODG terbaik didapatkan ketika nilai parameter p2 adalah 0.43.

**4.2 Analisis ketahanan watermark pada sistem tanpa algoritma genetika**

Sistem *audio watermarking* yang telah dibuat akan diuji ketahanannya dengan memberikan berbagai macam serangan. Parameter yang digunakan dalam pengujian kali ini yaitu:

1. Alpha 12
2. Key 17
3. Fm 24.4
4. P1 0.13
5. P2 0.43

Tabel 4.6 Performansi *audio watermarking* tanpa serangan

| Jenis Audio | BER  | ODG     | SNR (dB) | Kapasitas (bit/s) |
|-------------|------|---------|----------|-------------------|
| classic     | 0    | -0.5616 | 32.6237  | 43.0664           |
| pop         | 0    | -0.5447 | 31.5873  | 43.0664           |
| rbn         | 0    | -0.4825 | 31.8291  | 43.0664           |
| rock        | 0.25 | -0.8179 | 33.5947  | 43.0664           |
| voice       | 0    | -0.3740 | 34.9247  | 43.0664           |

Pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil dari parameter audio watermarking yang digunakan tanpa diberi serangan. Tidak semua audio mempunyai BER yang sempurna, tetapi nilai BER tersebut masih cukup bagus, karena suatu parameter terbaik dari suatu audio belum tentu hasilnya akan bagus jika digunakan oleh audio lain. Oleh karena itu, dipilih parameter yang cukup bagus untuk semua jenis audio yang akan digunakan.

Tabel 4.7 Ketahanan *watermark* terhadap serangan LPF

| Jenis Audio | Frekuensi Cut-off (Hz) | BER    | ODG     | SNR (dB) | Kapasitas (bit/s) |
|-------------|------------------------|--------|---------|----------|-------------------|
| Classic     | 3000                   | 0.0025 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
|             | 6000                   | 0.0025 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
|             | 9000                   | 0.0025 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
| Pop         | 3000                   | 0.0100 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
|             | 6000                   | 0.0075 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
|             | 9000                   | 0.0075 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
| Rbn         | 3000                   | 0      | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
|             | 6000                   | 0      | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
|             | 9000                   | 0      | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
| Rock        | 3000                   | 0.0775 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
|             | 6000                   | 0.0775 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
|             | 9000                   | 0.0775 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
| Voice       | 3000                   | 0      | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |
|             | 6000                   | 0      | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |
|             | 9000                   | 0      | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |

Tabel 4.8 Ketahanan *watermark* terhadap serangan *Pitch Shifting*

| Jenis Audio | Frekuensi Pergeseran (kHz) | BER    | ODG     | SNR (dB) | Kapasitas (bit/s) |
|-------------|----------------------------|--------|---------|----------|-------------------|
| Classic     | 90                         | 0.4975 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
|             | 100                        | 0.5225 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
|             | 110                        | 0.5175 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
| Pop         | 90                         | 0.5225 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
|             | 100                        | 0.5175 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
|             | 110                        | 0.4600 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
| Rbn         | 90                         | 0.5275 | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
|             | 100                        | 0.4875 | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
|             | 110                        | 0.5275 | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
| Rock        | 90                         | 0.4850 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
|             | 100                        | 0.4850 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
|             | 110                        | 0.5325 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
| Voice       | 90                         | 0.4950 | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |
|             | 100                        | 0.5050 | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |
|             | 110                        | 0.4550 | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |

Tabel 4.9 Ketahanan watermark terhadap serangan *Time Scale Modification*

| Jenis Audio | Pergeseran Waktu (second) | BER    | ODG     | SNR (dB) | Kapasitas (bit/s) |
|-------------|---------------------------|--------|---------|----------|-------------------|
| Classic     | 0.96                      | 0.3550 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
|             | 1.05                      | 0.2550 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
|             | 1.1                       | 0.2700 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
| Pop         | 0.96                      | 0.1950 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
|             | 1.05                      | 0.2275 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
|             | 1.1                       | 0.2475 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
| Rnb         | 0.96                      | 0.5075 | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
|             | 1.05                      | 0.1425 | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
|             | 1.1                       | 0.2750 | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
| Rock        | 0.96                      | 0.3525 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
|             | 1.05                      | 0.3025 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
|             | 1.1                       | 0.35   | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
| Voice       | 0.96                      | 0.1850 | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |
|             | 1.05                      | 0.0850 | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |
|             | 1.1                       | 0.2925 | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |

Tabel 4.10 Ketahanan watermark terhadap serangan gema

| Jenis Audio | BER    | ODG     | SNR (dB) | Kapasitas (bit/s) |
|-------------|--------|---------|----------|-------------------|
| Classic     | 0.4125 | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
| Pop         | 0.4075 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
| Rnb         | 0.415  | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
| Rock        | 0.4225 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
| Voice       | 0.41   | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |

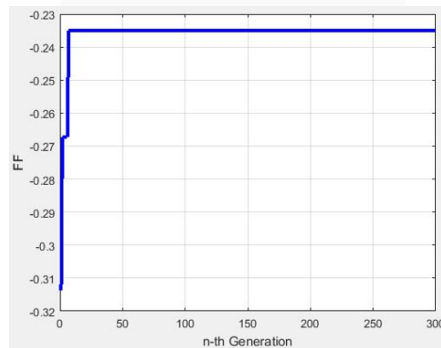
Tabel 4.11 Ketahanan watermark terhadap serangan *Dolby*

| Jenis Audio | BER    | ODG     | SNR (dB) | Kapasitas (bit/s) |
|-------------|--------|---------|----------|-------------------|
| Classic     | 0.46   | -0.6642 | 31.5668  | 43.0664           |
| Pop         | 0.4700 | -0.5785 | 32.2058  | 43.0664           |
| Rnb         | 0.48   | -0.4245 | 34.0349  | 43.0664           |
| Rock        | 0.4750 | -0.5380 | 35.1841  | 43.0664           |
| Voice       | 0.46   | -2.3920 | 28.3380  | 43.0664           |

Pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa LPF merupakan filter di mana akan meloloskan frekuensi di bawah frekuensi cutoff dan akan meredam frekuensi di atas frekuensi cutoff. Nilai BER hampir mendekati 0 pada setiap audionya. Pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa frekuensi di bawah 100 menunjukkan perubahan audio dengan menurunkan nada, sedangkan rasio di atas 100 berarti nada audio naik. Pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa watermark tidak tahan terhadap serangan *Time Scale Modification* yang dibuktikan dengan nilai BER rata-rata masih mencapai angka 30%. Pada Tabel 4.10 menunjukkan bahwa sistem *audio watermarking* yang diuji rentan terhadap serangan *Echo* karena semua lagu memiliki nilai BER yang paling tinggi dengan berada diatas 40%. Pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa sistem *audio watermarking* yang diuji rentan juga dengan serangan *Dolby*, hal ini disebabkan oleh nilai BER pada *host* bernilai diatas 45%.

### 4.3 Pengaruh Optimasi Algoritma Genetika terhadap Kinerja *Audio Watermarking*

Berikut ini adalah hasil optimasi untuk mendapatkan parameter-parameter yang optimal, yang tahan terhadap masing-masing serangan yang diberikan. Tabel 4.12 Pengaruh optimasi serangan *pitch shifting* pada *audio classic*

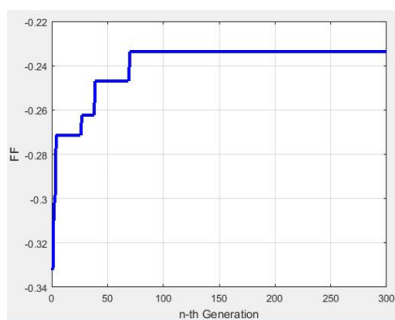


|                    | BER    | ODG    | SNR    |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Sebelum dioptimasi | 0.5225 | -0.664 | 31.566 |
| Setelah dioptimasi | 0,4075 | -0,393 | 40,348 |

Hasil menunjukkan *audio* yang telah dioptimasi memiliki nilai BER 40%, meskipun watermark yang setelah dioptimasi masih buruk tapi setidaknya memiliki nilai BER yang lebih baik daripada sebelum dioptimasi. Hal ini dapat membuktikan bahwa watermark pada *audio classic* tidak tahan terhadap serangan *Pitch Shifting* serta tidak mengganggu kualitas dari *watermarked audio* dengan melihat nilai ODG dan SNR yang masih baik.

Gambar 4.1 Grafik FF yang mengoptimasi serangan *pitch shifting* pada *au*

Tabel 4.13 Pengaruh optimasi serangan *echo* pada *audio pop*

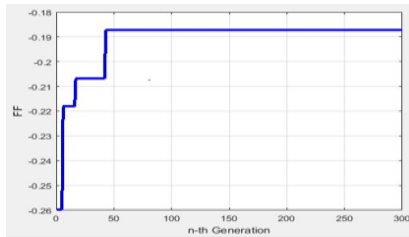


|                    | BER    | ODG    | SNR     |
|--------------------|--------|--------|---------|
| Sebelum dioptimasi | 0.4075 | -0.578 | 32.2058 |
| Setelah dioptimasi | 0,375  | -0,395 | 41,229  |

Hasil menunjukkan *audio* yang telah dioptimasi memiliki nilai BER yang sempurna yang masih jelek yaitu 37.5%. Hal ini dapat membuktikan bahwa watermark tidak tahan terhadap serangan *echo* tetapi hasil optimasi telah meningkatkan hasil watermark dengan nilai BER yang lebih kecil serta tidak mengganggu kualitas dari *watermarked audio* dengan melihat nilai ODG dan SNR yang masih baik.

Gambar 4.2 Grafik FF yang mengoptimasi serangan *echo* pada *audio classic*

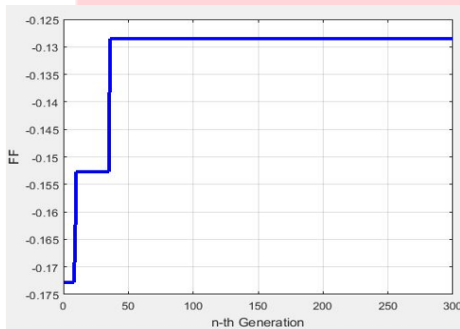
Tabel 4.14 Pengaruh optimasi serangan *echo* pada *audio Watermarking*



Gambar 4.3 Grafik FF yang mengoptimasi serangan Dolbey pada audio RnB

|                    | BER    | ODG    | SNR    |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Sebelum dioptimasi | 0,48   | -0,424 | 34,034 |
| Setelah dioptimasi | 0,3075 | -0,906 | 31,324 |

Hasil menunjukkan *audio* yang telah dioptimasi memiliki nilai BER yang masih jelek yaitu 30%. Hal ini dapat membuktikan bahwa *watermark* tidak tahan terhadap serangan *echo* tetapi hasil optimasi telah meningkatkan hasil *watermark* dengan nilai BER yang lebih kecil serta tidak mengganggu kualitas dari *watermarked audio* dengan melihat nilai ODG dan SNR yang masih baik.

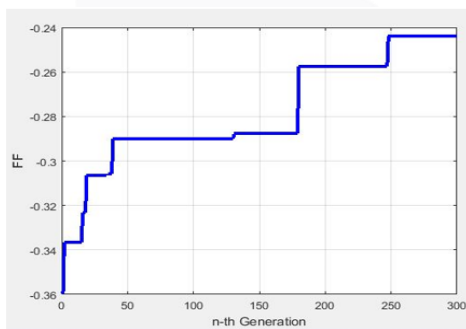


Gambar 4.4 Grafik FF yang mengoptimasi serangan AAC pada audio Rock

Tabel 4.15 Pengaruh optimasi serangan AAC pada audio rock

|                    | BER    | ODG     | SNR     |
|--------------------|--------|---------|---------|
| Sebelum dioptimasi | 0,3075 | -0,5380 | 35,1841 |
| Setelah dioptimasi | 0,205  | -0,762  | 31,478  |

Hasil menunjukkan *audio* yang telah dioptimasi memiliki nilai BER yang cukup bagus yaitu 20%. Hal ini dapat membuktikan bahwa *watermark* tidak terlalu tahan terhadap serangan AAC tetapi hasil optimasi telah meningkatkan hasil *watermark* dengan nilai BER yang lebih kecil serta tidak mengganggu kualitas dari *watermarked audio* dengan melihat nilai ODG dan SNR yang masih baik.



Gambar 4.5 Grafik FF yang mengoptimasi serangan Pitch Shifting pada audio voice

Tabel 4.16 Pengaruh optimasi serangan pitch shifting pada audio voice

|                    | BER    | ODG    | SNR    |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Sebelum dioptimasi | 0,5050 | -2,392 | 28,338 |
| Setelah dioptimasi | 0,425  | -0,253 | 46,093 |

Hasil menunjukkan *audio* yang telah dioptimasi masih memiliki nilai BER yang jelek yaitu 42%. Hal ini dapat membuktikan bahwa *watermark* pada *audio voice* tidak tahan terhadap serangan *Pitch Shifting* tetapi hasil optimasi telah meningkatkan hasil *watermark* dengan nilai BER yang lebih kecil serta tidak mengganggu kualitas dari *watermarked audio* dengan melihat nilai ODG dan SNR yang masih baik.

#### 4.4 Pengaruh serangan terhadap audio watermarking dengan parameter yang sudah di optimasi

| Jenis Audio    | Serangan              | BER    |
|----------------|-----------------------|--------|
| Classic        | LFF (9000Hz)          | 0      |
|                | BPF (100-6000Hz)      | 0      |
|                | Noise (20dB)          | 0      |
|                | Resampling (131025Hz) | 0      |
|                | TSM (0,36s)           | 0,44   |
|                | Speed Change(0,85s)   | 0      |
|                | Pitch Shifting        | 0,5    |
| pop            | Echo                  | 0,425  |
|                | MPS (192Kbps)         | 0      |
|                | LFF (9000Hz)          | 0,0025 |
|                | BPF (100-6000Hz)      | 0,0025 |
|                | Noise (20dB)          | 0,0025 |
|                | Resampling (131025Hz) | 0,0075 |
|                | TSM (0,36s)           | 0,0025 |
| RnB            | Speed Change(0,85s)   | 0,0025 |
|                | Pitch Shifting        | 0,3475 |
|                | Echo                  | 0,41   |
|                | MPS (192Kbps)         | 0,0025 |
|                | LFF (9000Hz)          | 0      |
|                | BPF (100-6000Hz)      | 0      |
|                | Noise (20dB)          | 0      |
| Rock           | Resampling (131025Hz) | 0      |
|                | TSM (0,36s)           | 0,4975 |
|                | Speed Change(0,85s)   | 0      |
|                | Pitch Shifting        | 0,4975 |
|                | Echo                  | 0,4125 |
|                | MPS (192Kbps)         | 0,0125 |
|                | LFF (9000Hz)          | 0,0175 |
| Voice          | BPF (100-6000Hz)      | 0,015  |
|                | Noise (20dB)          | 0,015  |
|                | Resampling (131025Hz) | 0,015  |
|                | TSM (0,36s)           | 0,31   |
|                | Speed Change(0,85s)   | 0,0175 |
|                | Pitch Shifting        | 0,51   |
|                | Echo                  | 0,41   |
|                | MPS (192Kbps)         | 0,0125 |
|                | LFF (9000Hz)          | 0      |
|                | BPF (100-6000Hz)      | 0      |
|                | Noise (20dB)          | 0      |
|                | Resampling (131025Hz) | 0      |
|                | TSM (0,36s)           | 0,3475 |
|                | Speed Change(0,85s)   | 0      |
| Pitch Shifting | 0,4925                |        |
| Echo           | 0,4075                |        |
| MPS (192Kbps)  | 0                     |        |

Dari hasil pengujian di atas, terlihat bahwa pada beberapa audio ada parameter yang jika diserang oleh beberapa serangan hasil BER diatas 15% . Hal tersebut membuktikan bahwa *watermark* memang tidak tahan terhadap serangan tersebut, yaitu serangan *Echo, pitch shifting, time scale modification.*

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada audio watermarking berbasis Fast Fourier Transform dan Spread Spectrum (SS) yang dioptimasi menggunakan algoritma genetika, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Nilai Alpha berbanding terbalik dengan nilai ODG dan SNR, yang menunjukkan kualitas dari watermarked audio. Nilai ODG terbesar pada pengujian ini adalah 0.2056 yaitu pada audio hiphop dan EDM saat level DWT 5, terkecil 0.8179 untuk audio *rock* pada nilai Alpha 12. SNR tertinggi yaitu sebesar 34.9247 untuk audio *voice* pada nilai Alpha 12, terkecil 31.5873 pada audio *pop* untuk nilai Alpha 12. Besar kapasitas tiap jenis audio adalah sama setiap nilai alpha berbeda, yaitu sebesar 43.0664
2. Nilai key memiliki pola yang acak dimana saat nilai key 16 didapat ODG sebesar -0.8332 dan saat nilai key 17 nilai ODG semakin besar, tetapi saat nilai key 19 nilai ODG kembali mengecil menjadi -0.7886. Nilai ODG terbesar pada pengujian ini adalah 0.8332 saat nilai key 16, terkecil **0.5615** nilai alpha 17. Nilai Snr terbesar pada pengujian ini adalah 32. 6238 saat nilai alpha 19, dan terkecil 32.6237 saat nilai key 17. Besar kapasitas tiap jenis audio adalah sama setiap nilai key berbeda, yaitu sebesar 43.0664
3. Nilai *fm* juga memiliki pola yang acak terhadap nilai SNR dan ODG. Nilai terbesar ODG 0.4967 yaitu didapat saat nilai *fm* 24.4 dan terkecil 0.5190 saat nilai *fm* 1.5. Besar kapasitas tiap jenis audio adalah sama setiap nilai *fm* berbeda, yaitu sebesar 43.0664.
4. Nilai P1 dan P2 memiliki syarat yaitu nilai P2 harus lebih besar dari  $2 * P1$ . Ketika nilai P1 0,1 didapatkan BER sebesar 0,00125 tetapi ketika nilai P1 dinaikkan menjadi 0,13 didapatkan BER sebesar 0% dan seterusnya. Nilai SNR dan ODG terbesar didapatkan saat nilai P1 0,13 dengan nilai SNR sebesar 33,5782 dan ODG -0,4264 sehingga untuk parameter P1 diambil nilai  $P1=0,13$ .
5. Untuk nilai P2 jika nilai P1 sebesar 0,13 maka nilai P2 minimal harus  $2 * P1$  yaitu sebesar 0,26. Sehingga pada analisis nilai P2 diuji dari 0,36. Nilai P2 berbanding lurus dengan nilai SNR dan ODG. Nilai ODG dan SNR terbaik didapatkan saat nilai parameter P2 0,43. Nilai ODG terbaik tersebut -0,3840 dan nilai SNR tersebut 34,0366.
6. Algoritma Genetika dapat mencari solusi terbaik untuk audio watermarking. Hal ini ditunjukkan hasil audio watermarking setelah optimasi lebih baik dibandingkan sebelum optimasi.
7. Parameter hasil optimasi menggunakan algoritma genetika dari suatu jenis audio, belum tentu merupakan parameter terbaik untuk jenis audio lain. Sehingga, jika jenis audio lain diinginkan hasil terbaik pada sistem ini, audio tersebut perlu optimasi menggunakan algoritma genetika.
8. Parameter yang dijadikan acuan untuk semua jenis audio yaitu parameter hasil optimasi audio rock. Karena audio jenis rock memiliki daya tinggi pada sebagian besar sinyal audionya dan hasilnya adalah yang paling jelek diantara audio lainnya, sehingga jika dioptimasi akan menghasilkan nilai parameter optimal yang bagus. Parameter hasil optimasi rock menghasilkan nilai yang cukup baik jika diujikan pada jenis audio lain yang digunakan pada pengujian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] S. N. Neyman, I. N. P. Pradnyana, and B. Sitohang, "A New Copyright Protection for Vector Map using FFT- based Watermarking," vol. 12, no. 2, 2014.
- [2] X. Kang, R. Yang, and J. Huang, "Geometric invariant audio watermarking based on an LCM feature," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 13, no. 2, pp. 181–190, 2011.
- [3] M. Sadeghzadeh and M. Taherbaghal, "A New Method for Watermarking using Genetic Algorithms," pp. 1–8, 2014.
- [4] Eko Listiyono, "Aspek dan Pengertian Watermarking - Bencerdas," 2013. [Online]. Available: <http://ekolistiyono.my.id/2013/08/aspek-dan-pengertian-watermarking/>.
- [5] "Pengertian Menurut Para Ahli," p. 1, 2016.
- [6] J. Eggers and B. Girod, *Informed Watermarking*. 2002.
- [7] D. N. Riadji, "Audio Watermarking \_ dinuho." [Online]. Available: <https://dinuho.wordpress.com/2010/04/14/audio-watermarking/>.
- [8] S. Purwanto, "Analisis dan implementasi Audio watermarking dengan menggabungkan Metode DWT dan MDCT," pp. 5–14, 2011.
- [9] M. Fallahpour and D. Megías, "Audio watermarking based on Fibonacci numbers," *IEEE Trans. Audio*,



- Speech Lang. Process.*, vol. 23, no. 8, pp. 1273–1282, 2015.
- [10] “Mengenal Fast Fourier Transform (FFT),” *Vibrasindo*, 2011.
- [11] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoon, “Secure spread spectrum watermarking for multimedia,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 6, no. 12, pp. 1673–1687, 1997.
- [12] A. K. H. Malik, R. Ansari, “Robust audio watermarking using frequency-selective spread spectrum,” *IET Inf.*, 2008.
- [13] 13. N. Cvejic and C. V. E. Jic, “Algorithms for Audio Watermarking,” 2004.
- [14] B. M. Garlapati and K. Kakkirala, “Malicious audio source detection using audio watermarking,” no. April, pp. 23–25, 2015.
- [15] E. Satriyanto, *Algoritma Genetika*. 2011.
- [16] S. Kusumadewi, *Algoritma Genetika*. .
- [17] P. Skema, W. Dangan, and F. F. T. Dan, “Bab 3 pemodelan skema,” pp. 27–35.
- [18] W. U. Guo-min, Z. Yue-ting, W. U. Fei, and P. A. N. Yun-he, “Adaptive audio watermarking based on SNR in localized regions \*,” pp. 53–57, 2005.
- [19] Ming Zhao, Jeng-Shyang Pan, and S.-T. Chen, “Optimal SNR of Audio Watermarking by Wavelet and Compact PSO Methods,” *J. Inf. Hiding Multimed. Signal Process.*, vol. 6, no. 5, pp. 833–846, 2015.