

OPTIMASI AUDIO WATERMARKING BERBASIS LIFTING WAVELET TRANSFORM DENGAN METODE SPREAD SPECTRUM MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

AUDIO WATERMARKING OPTIMIZATION WITH SPREAD SPECTRUM METHOD BASED ON LIFTING WAVELET TRANSFORM USING GENETIC ALGORITHM

Hafiz Adriansyah¹, Gelar Budiman S.T., M.T.², Suci Aulia S.T., M.T.³

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

³ Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹hafiz.adriansyah@gmail.com, ²gelarbudiman@gmail.com, ³sucia@tass.telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dengan menggunakan data digital pada saat ini sudah berkembang dengan cukup pesat. Kemudahan dalam pertukaran dan mengakses suatu data digital, membuatnya rentan akan penyalahgunaan hak cipta. Penyalahgunaan hak cipta ini akan merugikan banyak pihak khususnya pemilik hak cipta yang sebenarnya. Maka dari itu, perlu dilakukan suatu tindakan untuk melindungi hak cipta suatu data digital.

Salah satu cara untuk melindungi hak cipta suatu data digital adalah dengan menyisipkan data *watermark* ke dalam data digital tersebut atau bisa disebut dengan *digital watermarking*. *Digital watermarking* adalah salah satu teknik otentikasi untuk perlindungan hak cipta yang dapat digunakan pada berbagai data digital. Data digital yang bisa menjadi data *host* untuk disisipi data *watermark* adalah data berupa citra, audio, dan video. Teknik *digital watermarking* dipilih karena memiliki tiga keunggulan dalam keamanan data seperti ketahanan (*robustness*), tidak terlihat/terasa oleh indera manusia (*imperceptibility*), serta keamanan (*safety*).

Pada jurnal ini, teknik *digital watermarking* yang digunakan adalah *audio watermarking*. *Audio watermarking* adalah teknik penyisipan atau penanaman suatu informasi/data *watermark* ke dalam suatu file audio. Metode yang diterapkan dalam jurnal ini adalah *spread spectrum* (SS) dengan berbasis *lifting wavelet transform* (LWT) yang dioptimasi oleh algoritma genetika (Algen).

Hasil sistem *audio watermarking* yang dirancang setelah optimasi algen menunjukkan hasil yang lebih baik dari sebelum dioptimasi yaitu dengan hasil BER 0 hingga 0,27 pada beberapa serangan seperti *time scale modification*, *pitch shifting*, *resampling*, dan kompresi mp3.

Kata Kunci : *Audio Watermarking, Lifting Wavelet Transform, Spread Spectrum, Algoritma Genetika.*

ABSTRACT

The development of technology by using digital data at this time have grown fairly rapid. Ease of exchange and accessing digital data, making it vulnerable to misuse of copyright. Copyright abuse will be detrimental to many parties, especially the actual copyright owner. Therefore, it is necessary for an action to protect the copyright of a digital data.

One way to protect the copyright of a digital data is to insert watermark data into digital data or can be called by digital watermarking. Digital watermarking is one authentication technique for copyright protection that can be used on a variety of digital data. Digital data that can be hosted data to be inserted watermark data is data such as images, audio, and video. Digital watermarking technique chosen because it has three advantages in data security such as resistance (robustness), not seen/felt by human senses (imperceptibility), and security (safety).

In this journal, the digital watermarking technique that used is audio watermarking. Audio watermarking is the technique of insertion or implantation of an information / data watermark into an audio file. The method applied in this journal is a spread spectrum (SS) with lifting-based wavelet transform (LWT) which is optimized by a genetic algorithm (GA).

The result of the audio watermarking system after the optimization is better than before the optimization with BER result is from 0 until 0,27 at some attack such as time scale modification, pitch shifting, resampling, and mp3 compression.

Keywords : Audio Watermarking, Lifting Wavelet Transform, Spread Spectrum, Genetic Algorithm.

1. Pendahuluan

Berkembangnya teknologi komputer dan internet pada saat ini sudah sangat pesat. Kehidupan manusia pun semakin mudah dan terbantu dengan majunya teknologi informasi, salah satunya adalah kemudahan dalam mendapatkan sebuah informasi dengan cepat. Dalam perkembangan teknologi informasi pada saat ini, salah satu media yang digunakan untuk melakukan pertukaran informasi adalah data digital yang bisa berupa video,

gambar, tulisan, maupun suara. Kemudahan dalam pertukaran dan mengakses suatu data digital inilah yang membuatnya rentan akan penyalahgunaan hak cipta. Salah satu cara untuk melindungi hak cipta suatu data digital adalah *digital watermarking*. [1] Contoh aplikasi terkait *audio watermarking* salah satunya adalah *Audio Watermarking Tools (AWT)* yang dikembangkan oleh Alex Radzishhevsky. Aplikasi yang dapat digunakan pada berbagai *platform* ini dapat melakukan *embedding* dan ekstraksi *watermark digital* dari sebuah *file audio*. Aplikasi lainnya yaitu *digimarc* juga dapat melakukan proteksi hak cipta dengan menggunakan *digimarc barcode* yang disisipkan ke dalam sebuah *file audio*.

Pada tugas akhir ini, teknik *digital watermarking* yang akan digunakan adalah *audio watermarking*. *Audio watermarking* adalah teknik penyisipan atau penanaman suatu informasi/data *watermark* ke dalam suatu *file audio* sebagai bukti hak cipta. [1] Metode *audio watermarking* yang diterapkan dalam tugas akhir ini adalah *spread spectrum (SS)* dengan berbasis *lifting wavelet transform (LWT)* yang dioptimasi oleh algoritma genetika (Algen).

2. Dasar Teori

2.1 Audio Watermarking

Audio watermarking adalah teknik penyisipan *watermark* ke dalam data audio (data host) sebagai perlindungan hak cipta dari data audio tersebut. [2] Untuk menyisipkan sebuah informasi, kriteria yang harus dipenuhi *audio watermarking* antara lain [1][3][4][5]:

- a) Ketahanan (*robustness*) : Data *watermark* harus sulit untuk dihapus atau dihilangkan dari tempat *watermark* tersebut disisipkan serta tahan terhadap berbagai serangan seperti kompresi, *filtering*, *resampling*, penambahan *noise*, dan lain-lain.
- b) Tidak terlihat/terasa oleh indera manusia (*imperceptibility*) : data *watermark* tidak bisa dilihat dan dirasakan oleh indera namun disaat yang sama tidak mengurangi kualitas data *host*.
- c) *Payload* : Banyaknya data yang dapat disisipkan, direpresentasikan dalam satuan *bit per second (bps)*.
- d) *Key uniqueness* : Kunci yang berbeda akan menghasilkan *watermark* yang berbeda. Ini menandakan bahwa jika penggunaan kunci salah, maka akan menyebabkan hasil ekstraksi atau deteksi *watermark* yang salah pula.

Dari kriteria-kriteria tersebut, *audio watermarking* memiliki banyak metode baik dalam proses penyisipan maupun proses ekstraksi di mana setiap metode akan memiliki tingkat kualitas dan performansi yang berbeda. Kriteria-kriteria ini juga tidak saling mendukung atau berbanding lurus sehingga menjadi tantangan tersendiri untuk menghasilkan *watermarked audio* dengan kualitas yang baik. Masalah lainnya yang juga dihadapi adalah setelah proses penyisipan atau penanaman data *watermark*. Audio yang dihasilkan dari proses penyisipan atau disebut juga sebagai *watermarked audio* akan diserang oleh berbagai macam serangan untuk menguji ketahanan data yang disisipkan sehingga saat sinyal hasil serangan tersebut dimasukkan ke dalam proses ekstraksi, data yang disisipkan sebelumnya bisa berbeda dari data awal yang disisipkan. [3]

2.2 Lifting Wavelet Transform (LWT)

Wim Swelden mengajukan sebuah metode berdasarkan domain spasial untuk membangun *wavelet* yang disebut *lifting wavelet transform (LWT)* pada tahun 1994. [6] Sebagian besar metode *audio watermarking* memanfaatkan domain waktu atau domain transformasi seperti *discrete wavelet transform (DWT)*, *discrete cosine transform (DCT)*, *fast fourier transform (FFT)*, dan *discrete fractional sine transform (DFST)*. Metode domain waktu sangat efisien dan mudah diterapkan. Namun, metode domain transform dapat memberikan ketahanan (*robustness*) yang baik. [7]

Dalam LWT, dekomposisi citra asli menghasilkan empat buah *band data*, yaitu koefisien pendekatan matriks (LL) dengan matriks HL, LH, HH, sedangkan pada dekomposisi audio hanya akan menghasilkan *low pass coefficients (L)* dan *high pass coefficients (H)*. [8] *Lifting Wavelet Transform* memiliki tiga proses dalam pengimplementasiannya, yaitu *split*, *predict*, *update*. [9]

2.3 Spread Spectrum

Spread spectrum adalah sebuah teknik pentransmisi dengan menggunakan *pseudo-noise code*, yang independen terhadap data informasi, sebagai modulator bentuk gelombang untuk menyebarkan energi sinyal dalam sebuah jalur komunikasi (*bandwidth*) yang lebih besar daripada sinyal jalur komunikasi informasi. Oleh penerima, sinyal dikumpulkan kembali menggunakan replika *pseudo-noise code* tersinkronisasi. Secara sederhana bisa dikatakan bahwa pada metode ini data yang telah dikodekan disebar pada domain waktu dan spektrum frekuensi. [10]

2.6 Algoritma Genetika

Algoritma genetika (algen) juga bisa diartikan sebagai teknik untuk optimasi dan pencarian, yang didasarkan pada teori Darwin dari *survival/seleksi* alam dan reproduksi. Algen memproses populasi kromosom (individu), yang menggantikan satu populasi dengan yang lain berturut-turut. Kromosom dalam algen sering diadakan di pengkodean biner. Setiap kromosom merupakan solusi kandidat dalam ruang pencarian. Algen biasanya membutuhkan *fitness function (FF)* untuk menetapkan nilai (kecocokkan) untuk setiap kromosom

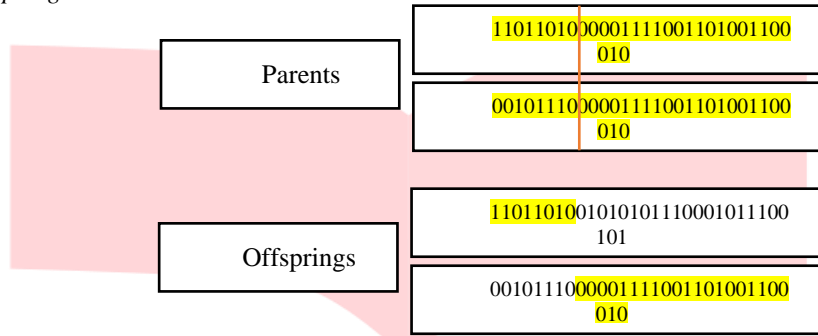
dalam populasi saat ini. Bentuk paling sederhana dari algen menggunakan tiga jenis operator untuk mengontrol reproduksi kromosom yang dinyatakan sebagai berikut[11]:

a) Seleksi.

Memilih kromosom dalam populasi untuk reproduksi. Semakin cocok suatu kromosom, semakin besar kemungkinan dipilih. Artinya, kromosom yang lebih buger memiliki kesempatan lebih besar untuk mempromosikan informasi yang dikandungnya ke dalam generasi berikutnya.

b) Penyeberangan (*crossover*)

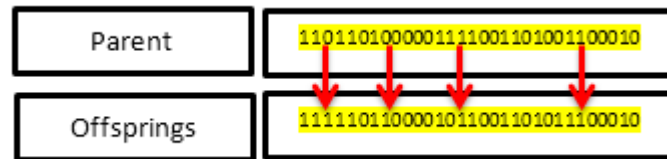
Memilih pasangan kromosom yang dipromosikan oleh operator pilihan. Untuk masing-masing pasangan, secara acak memilih satu titik dan bertukar urutan sebelum dan sesudah titik antara dua kromosom untuk membuat dua *off-springs*.



Gambar 2.1 Proses *Crossover* pada Algen [11]

c) Mutasi

Pada proses mutasi, nilai bit tunggal dalam kromosom diubah (*flip*) secara acak. Hal ini dapat diimplementasikan dengan cara yang secara acak memilih satu kromosom dari populasi dan kemudian mengubah beberapa bit-nya.

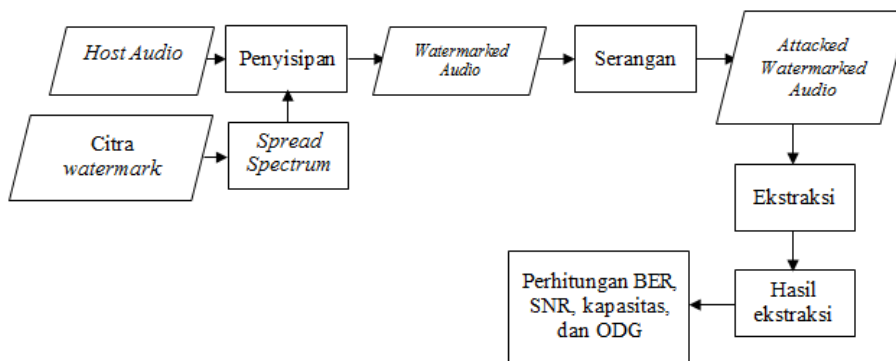


Gambar 2.2 Proses Mutasi pada Algen [11]

3. Pembahasan

3.1 Perancangan Sistem

Secara keseluruhan, blok diagram proses perancangan sistem *audio watermarking* adalah sebagai berikut :



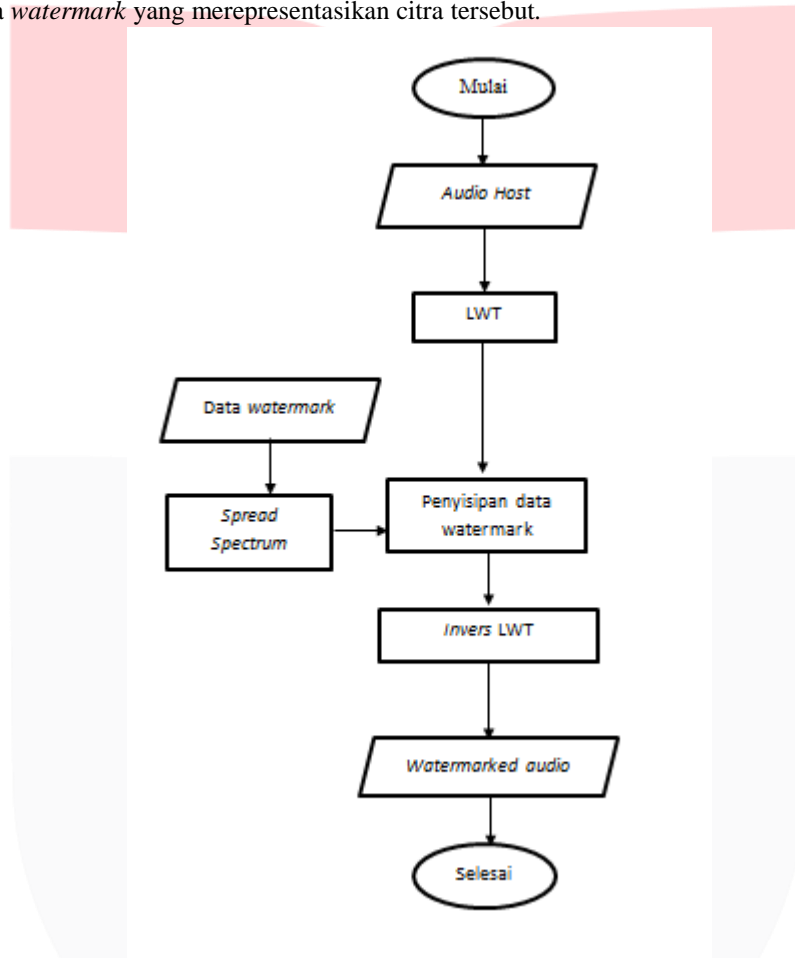
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Pada tugas akhir ini, perancangan skema *audio watermarking* yang dilakukan melalui proses penyisipan (*embedding*), dan ekstraksi (*extraction*). Dalam *audio watermarking*, terdapat dua tahap pemrosesan sinyal. Tahap pertama adalah penyisipan (*embedding*) yaitu proses penyisipan citra digital pada *file audio* (*host*) sehingga didapatkan *file audio* yang telah ter-*watermark* (*watermarked*) oleh citra digital. Tahap selanjutnya adalah proses ekstraksi (*extraction*) yang dilakukan pada sinyal audio yang sudah ter-*watermark* (*watermarked audio*) untuk mengambil kembali data *watermark* setelah dilakukan serangan terhadap *watermarked audio*.

3.2 Proses Penyisipan (*Embedding*)

Proses penyisipan (*Embedding*) dilakukan dengan menginput *audio* yang kemudian akan melewati tahapan transformasi *lifting wavelet transform* (LWT). Setelah itu akan dilakukan metode *spread spectrum* (SS) yaitu menyebarkan pesan ke setiap *spectrum* frekuensi.

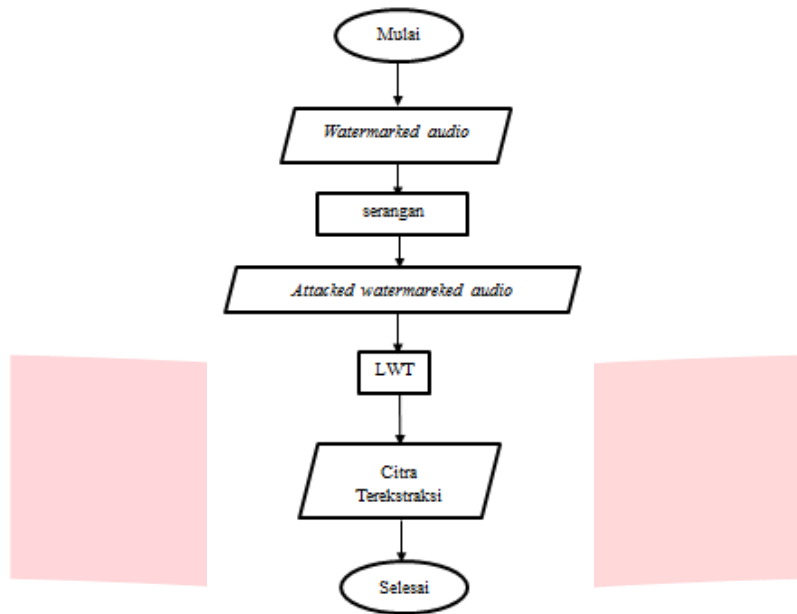
Pada LWT, operasi proses dibagi dan diproses secara bersamaan. Proses pada LWT dinamakan *Split* (S), *Predict* (P) dan *Update* (U). Proses penyisipan bit *watermark* dimulai dengan mempersiapkan *host audio* dan citra *watermark* yang akan digunakan. Data *watermark* yang disisipkan berupa citra berformat *.PNG, dan *host audio* merupakan file *.wav. Alasan digunakannya audio berformat *.wav adalah agar perbandingan hasil sistem yang dirancang dengan penelitian terkait sesuai dan valid. Selain itu, format ini cocok untuk pemrosesan *audio* dengan kualitas yang tinggi dan belum terkompresi, di mana waktu yang terlibat dalam kompresi data menjadi perhatian. Citra tersebut akan masuk pada tahap *preprocessing* dahulu, lalu kemudian akan menghasilkan data *watermark* yang merepresentasikan citra tersebut.



Gambar 3.2 Diagram alir penyisipan *audio watermarking*

3.3 Proses Ekstraksi

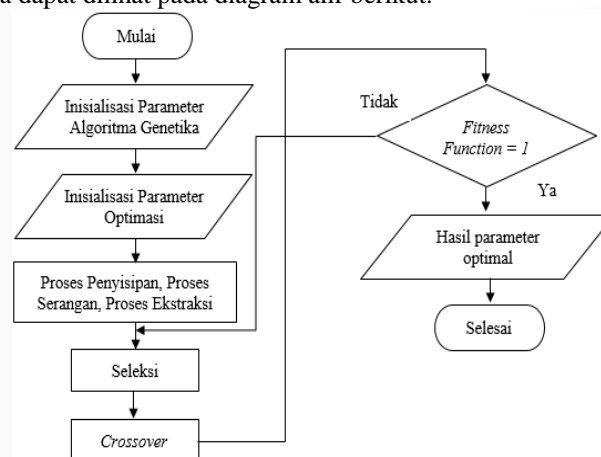
Proses ekstraksi cukup berbeda dengan proses penyisipan (*embedding*) *watermark* ke dalam *host audio*. Pada tahap awal, *watermarked audio* akan diserang dengan beberapa jenis serangan. Setelah mendapat serangan, *watermarked audio* selanjutnya akan disebut sebagai *attacked watermarked audio*. Setelah mendapat serangan, data *watermark* akan diekstraksi dengan metode *spread spectrum* dan *inverse-lifting wavelet transform* untuk mengembalikan bit citra *watermark*. Serangkaian proses tersebut menghasilkan hasil ekstraksi berupa data *watermark* atau citra terekstraksi. Data *watermark*/citra terwatermark ini kemudian dibandingkan dengan data *watermark* asli yang sebelumnya disisipkan ke dalam *host*. Perbandingan ini yang menentukan kualitas ketahanan *watermark* dengan mendapatkan nilai BER dan parameter-parameter lainnya. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Ekstraksi Sistem Audio Watermarking

3.2 Proses Optimasi dengan Algoritma Genetika

Tahap optimasi diawali dengan inialisasi algoritma genetika yang terdiri dari jumlah populasi, generasi, serta probabilitas mutasi. Setelah itu, dilakukan inialisasi parameter-parameter yang akan dioptimasi menggunakan algoritma genetika. Lalu dilakukan proses optimasi hingga jumlah generasi yang ditentukan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada diagram alir berikut.

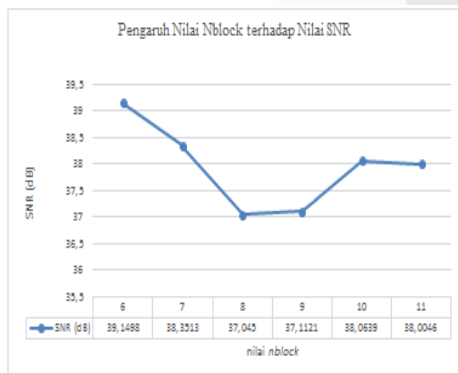


Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Optimasi

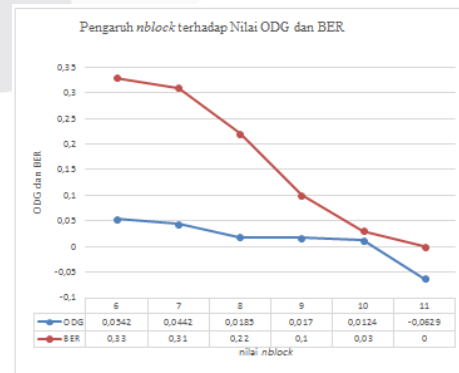
4. Analisis

4.1 Pengaruh Nilai Nblock terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Berikut ini adalah pengaruh *Nblock* terhadap hasil *audio watermarking* yang dihasilkan sebelum optimasi pada *audio Rock*.



Gambar 4.1 Pengaruh *Nblock* terhadap SNR

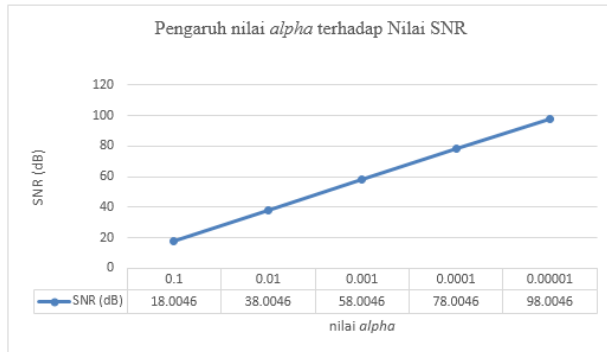


Gambar 4.2 Pengaruh *Nblock* terhadap ODG dan BER

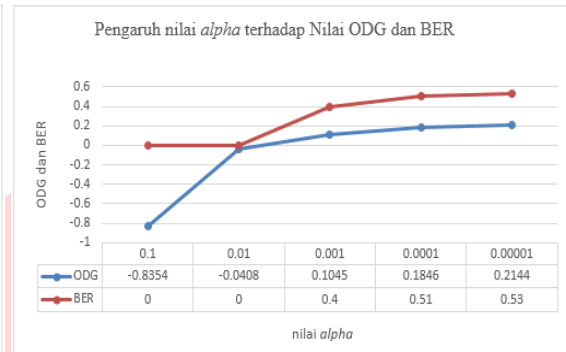
Dari data hasil pengujian, dapat kita ketahui bahwa nilai *nblock* mempengaruhi nilai SNR, ODG, serta kapasitas dari *watermarked audio*. Semakin besar nilai *nblock*, maka nilai BER dan nilai kapasitas akan semakin kecil, nilai ODG mengalami penurunan, dan nilai SNR cenderung tidak stabil.

4.2 Analisis Pengaruh Nilai Alpha terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Berikut ini adalah pengaruh Nilai *Alpha* terhadap hasil *audio watermarking* yang dihasilkan sebelum optimasi.



Gambar 4.3 Pengaruh nilai *Alpha* terhadap SNR

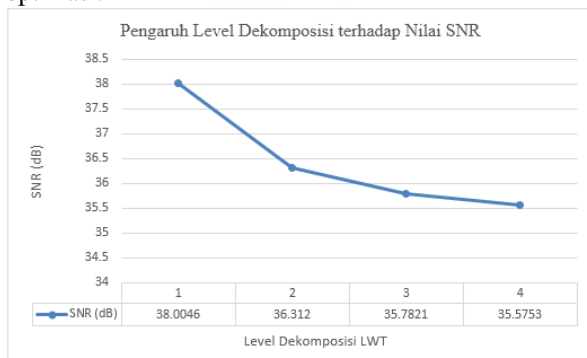


Gambar 4.4 Pengaruh nilai *Alpha* terhadap ODG dan BER

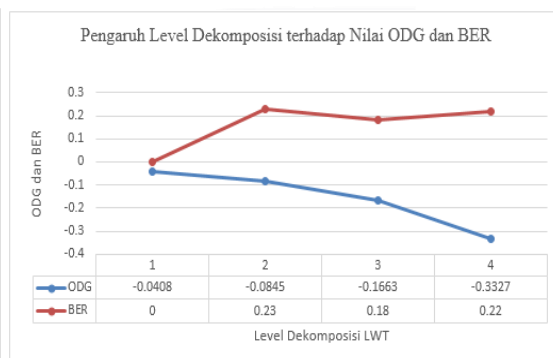
Dari data hasil pengujian, dapat kita ketahui bahwa nilai *alpha* mempengaruhi nilai SNR, ODG, serta kapasitas dari *watermarked audio*. Semakin besar nilai *alpha*, maka nilai BER dan nilai kapasitas akan semakin kecil, nilai ODG mengalami penurunan, dan nilai SNR semakin besar.

4.3 Analisis Pengaruh Level LWT terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Berikut ini adalah pengaruh level LWT terhadap hasil *audio watermarking* yang dihasilkan sebelum optimasi.



Gambar 4.5 Pengaruh level LWT terhadap SNR

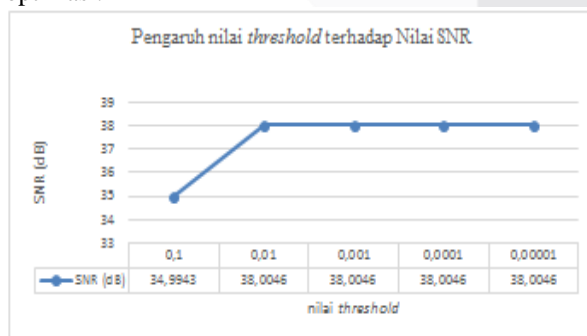


Gambar 4.6 Pengaruh level LWT terhadap ODG dan BER

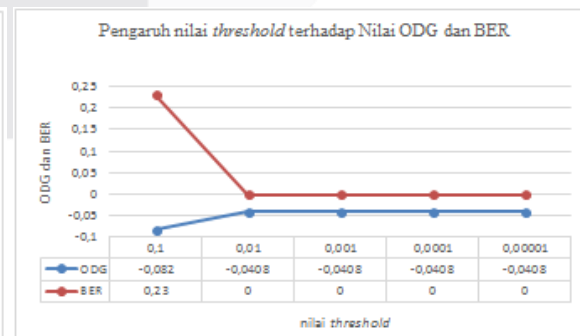
Dari data yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa level dekomposisi LWT mempengaruhi nilai SNR, kapasitas, dan ODG dari *watermarked audio*. Semakin tinggi level dekomposisi, maka nilai SNR, kapasitas serta ODG semakin kecil, sementara nilai BER cenderung fluktuatif.

4.4 Analisis Pengaruh Threshold terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Berikut ini adalah pengaruh *Threshold* terhadap hasil *audio watermarking* yang dihasilkan sebelum optimasi.



Gambar 4.7 Pengaruh *threshold* terhadap SNR



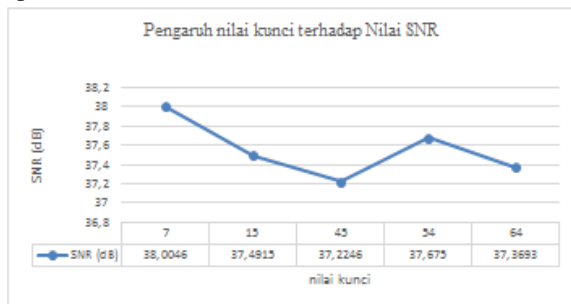
Gambar 4.8 Pengaruh *threshold* terhadap ODG dan BER

Dari data yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa nilai *threshold* mempengaruhi nilai SNR dan ODG dari *watermarked audio*. Nilai *threshold* yang dipilih dari tabel tersebut adalah 0.01 karena nilai yang lebih

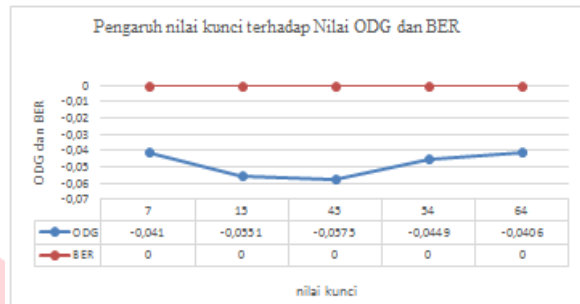
rendah dari 0.01 sama-sama menghasilkan BER 0 dan ODG yang mendekati 0 serta nilai SNR yang cukup baik.

4.5 Analisis Pengaruh Nilai Kunci terhadap Kinerja Sistem Audio Watermarking

Berikut ini adalah pengaruh nilai kunci terhadap hasil *audio watermarking* yang dihasilkan sebelum optimasi.



Gambar 4.9 Pengaruh nilai kunci terhadap SNR



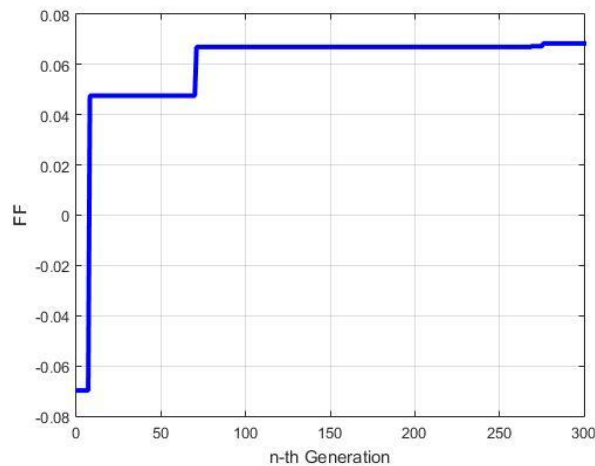
Gambar 4.10 Pengaruh nilai kunci terhadap ODG dan BER

4.6 Analisis Optimasi Algoritma Genetika terhadap Audio Watermarking

Optimasi dengan menggunakan algoritma genetika dilakukan pada *audio Rock* dengan 300 generasi, 20 populasi dan probabilitas mutasi 1/2. Pada tabel 4.6 merupakan parameter terbaik hasil optimasi, saat diberikan serangan berupa kompresi mp3 serta gambar 4.11 adalah grafik dari *fitness function* (FF).

Tabel 4.6 Parameter optimal untuk serangan Kompresi mp3

Nblock	Alpha	N	Threshold	Kunci
11	0,01	2	0,0008	8



Gambar 4.11 Grafik Fitness Function

Setelah dilakukan proses optimasi, hasil keluaran nilai parameter BER, ODG, SNR, dan kapasitas pada *audio Rock* berbeda dengan hasil sebelum dioptimasi. Berikut merupakan perbandingan nilai parameter audio sebelum dan sesudah dioptimasi.

Tabel 4.7 Pengaruh optimasi serangan Kompresi MP3 terhadap audio Rock

	BER	ODG	SNR	Kapasitas
Sebelum optimasi	0,46	-0,0473	38,0046	10,7666
Setelah optimasi	0,23	-0,0288	37,6682	5,3833

Hasil dari tabel diatas menunjukkan bahwa nilai dari parameter BER mengalami perubahan. Audio yang telah dioptimasi memiliki nilai BER yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan BER sebelum optimasi. Hal tersebut dapat membuktikan bahwa proses optimasi dapat meningkatkan ketahanan *watermark* terhadap serangan kompresi mp3 dengan tidak mengganggu kualitas dari audio tersebut.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Performansi sistem *audio watermarking* sudah cukup baik dan optimal karena nilai parameter *robustness*, *imperceptibility*, serta *payload* baik dan seimbang. Hal ini bisa dilihat pada nilai BER yang lebih kecil dari 30%, SNR yang sudah di atas 20 dB, dan nilai kapasitas yang cukup baik.

2. Algoritma Genetika adalah salah satu solusi terbaik untuk meningkatkan kualitas sistem *audio watermarking*. Ini ditunjukkan oleh hasil sistem *audio watermarking* setelah optimasi yang lebih baik dari sebelum dioptimasi yaitu dengan hasil BER 0 hingga 0,27. Sementara hasil BER sebelum optimasi memiliki rentang nilai antara 0,4 hingga 0,51 pada beberapa serangan seperti TSM, *pitch shifting*, *resampling*, dan kompresi mp3.
3. Parameter terbaik untuk *robustness*, *imperceptibility*, dan *payload* tidak bisa didapatkan secara bersamaan karena prinsip *trade-off audio watermarking* di mana hanya salah dua dari parameter tersebut yang bisa dimaksimalkan. Namun pada tugas akhir ini, sistem yang dirancang sudah diatur sedemikian rupa agar ketiga parameter tersebut bisa didapat nilai maksimalnya secara seimbang.
4. Semakin besar nilai parameter *alpha* dan nilai parameter *nblock*, maka nilai BER, SNR, dan ODG semakin besar sehingga *imperceptibility* dan ketahanan dari *audio watermarking* semakin baik, tetapi kapasitas akan semakin kecil.
5. Nilai *alpha* dan nilai *nblock* bernilai linier dengan nilai BER, SNR, dan ODG namun berbanding terbalik dengan nilai kapasitas.
6. Level dekomposisi LWT cenderung membuat performansi sistem fluktuatif. Tetapi nilai optimal yang bisa didapat di setiap *host audio* adalah pada saat nilai level dekomposisi LWT=1.
7. Nilai *threshold* tidak terlalu berpengaruh banyak pada sistem. Pada nilai *threshold* yang lebih kecil dari 0.01, seluruh hasil nilai parameter *output* sama.
8. Nilai kunci cenderung membuat performansi sistem fluktuatif. Ini bisa diketahui dari semakin besar nilai kunci, nilai parameter *output* belum tentu semakin besar atau semakin kecil.
9. Parameter terbaik hasil optimasi menggunakan algoritma genetika dari suatu jenis *audio*, belum tentu menjadi parameter terbaik untuk jenis *audio* lain.
10. Parameter terbaik dengan serangan *resampling* pada audio percakapan hasil optimasi adalah *Nblock* 9, level dekomposisi 2, nilai *alpha* 0.005, nilai *Threshold* 0,000008, dan jumlah kunci 32.
11. Parameter terbaik dengan serangan *resampling* pada audio *instrumental* hasil optimasi adalah *Nblock* 12, level dekomposisi 2, nilai *alpha* 0.005, nilai *Threshold* 0,000007, dan jumlah kunci 31.
12. Parameter terbaik dengan serangan TSM pada *audio Pop Rock* hasil optimasi adalah *Nblock* 10, level dekomposisi 2, nilai *alpha* 0.000006, nilai *Threshold* 0,08, dan jumlah kunci 4.
13. Parameter terbaik dengan serangan *pitch shifting* pada *audio electro funk* hasil optimasi adalah *Nblock* 10, level dekomposisi 1, nilai *alpha* 0.0004, nilai *Threshold* 0.2, dan jumlah kunci 29.
14. Parameter terbaik dengan serangan kompresi mp3 pada *audio rock* hasil optimasi adalah *Nblock* 11, level dekomposisi 2, nilai *alpha* 0.01, nilai *Threshold* 0.0008, dan jumlah kunci 8.
15. Hasil parameter yang paling tahan terhadap serangan yaitu parameter hasil optimasi *audio* percakapan dengan jenis serangan *resampling* yang mendapat BER 0 setelah optimasi.

Daftar Pustaka

- [1] H. Harahap, G. Budiman, and L. Novamizanti, "Implementasi Teknik Watermarking menggunakan FFT dan Spread Spectrum Watermark pada Data Audio Digital," vol. 4, no. 1, pp. 2459–9638, 2016.
- [2] P. K. Dhar and T. Simamura, "A Blind LWT-Based Audio Watermarking Using Fast Walsh Hadamard Transform and Singular Value Decomposition," *Circuits Syst. (ISCAS), 2014 IEEE Int. Symp.*, no. 1, pp. 125–128, 2014.
- [3] I. D. Pratama, G. Budiman, and I. N. A. Ramatryana, "Analisis Audio Watermarking Menggunakan Metode Discrete," pp. 1–9, 2016.
- [4] S. P. Singh Chauhan and S. a. M. Rizvi, "A survey: Digital audio watermarking techniques and applications," *2013 4th Int. Conf. Comput. Commun. Technol.*, pp. 185–192, 2013.
- [5] G. Voyatzis and I. Pitas, "The use of watermarks in the protection of digital multimedia products," *Proc. IEEE*, vol. 87, no. 7, pp. 1197–1207, 1999.
- [6] C. Xuesongl, C. Haiman, and W. Fenglee, "A Dual Digital Audio Watermarking Algorithm Based on LWT," no. Mic, pp. 721–725, 2012.
- [7] P. K. Dhar, "A blind audio watermarking method based on lifting wavelet transform and QR decomposition," *8th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. Adv. Technol. a Better Tomorrow, ICECE 2014*, pp. 136–139, 2015.
- [8] J. Patel and K. Pathak, "Implementation of the 5 / 3 Lifting 2D Discrete Wavelet Transform," vol. 2, no. 3, pp. 2953–2957, 2014.
- [9] A. Tun and Y. Thein, "Digital Image Watermarking Scheme Based on LWT and DCT," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 272–277, 2013.
- [10] Y. G. Vembrina, "Spread Spectrum Steganography," 2004.
- [11] M. Zamani, H. Taherdoost, A. A. Manaf, R. B. Ahmad, and A. M. Zeki, "Robust audio steganography via genetic algorithm," *2009 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICICT 2009*, pp. 149–154, 2009.