

# ANALISIS *AUDIO WATERMARKING* MENGGUNAKAN *LIFTING WAVELET* BERDASARKAN KARAKTERISTIK STATISTIK DARI *SUB-BAND KOEFISIEN* DENGAN OPTIMASI ALGORITMA GENETIKA

Rike Arfina<sup>1)</sup>, Maghfira Rifki Hariadi<sup>2)</sup>, Gelar Budiman<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup>, Prodi SI Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi No.1 Terusan Buah Batu, Bandung  
Email : [riekearfina092@gmail.com](mailto:riekearfina092@gmail.com)

**Abstrak** . Penyebaran informasi dan data yang beraktifitas di jaringan Internet saat ini telah menimbulkan masalah dalam perlindungan hak cipta produk audio digital. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan sebuah teknik yang handal yaitu salah satunya dengan menggunakan teknik audio watermarking. Dalam penelitian ini dilakukan watermarking pada audio dengan citra biner, diharapkan citra yang disisipkan tidak mengganggu kualitas audio dan watermark yang disisipkan tahan terhadap serangan. Metode audio watermarking yang digunakan yaitu *Lifting Wavelet Transform* berdasarkan karakteristik statistik dari sub-band koefisien yang diusulkan. Pertama-tama, sinyal audio asli yang tersegmentasi dan masing-masing segmen dibagi menjadi dua bagian. *LWT (Lifting Wavelet Transform)* dilakukan pada setiap bagian, kode sinkronisasi dan watermark yang disisipkan ke dalam bagian pertama dan bagian kedua, dengan memodifikasi nilai rata-rata statistik dari sub-band koefisien. Algoritma genetika digunakan untuk menentukan parameter yang paling optimal sehingga audio watermark memiliki imperceptibility dan ketahanan yang baik. Untuk menguji kualitas file audio yang telah disisipkan citra biner didalamnya dilakukan penilaian parameter BER, PEAQ (ODG), MSE, dan PSNR. Hasil yang didapatkan pada saat ekstraksi tanpa menggunakan serangan yaitu memiliki nilai BER= 0. Dengan metode ini dilakukan optimasi parameter menggunakan Algoritma Genetika diharapkan watermark yang disisipkan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap serangan pemrosesan sinyal umum seperti LPF, noise, resampling, cropping dan kompresi MP3, dan menghasilkan parameter audio watermark yang paling optimal.

**Kata Kunci** : *Audio Watermarking, Lifting Wavelet Transform, Karakteristik Statistik, Koefisien sub-band, Algoritma Genetika*

## 1. Pendahuluan

Pengenalan teknologi digital *audio watermarking* telah dianggap sebagai salah satu cara efektif untuk menangani perlindungan hak cipta produk audio digital, tanpa mempengaruhi kegunaan dari produk, penyisipan informasi hak cipta ke dalam sinyal asli, dan memverifikasi hak cipta serta integritas dari dokumen audio yang terdeteksi

Banyak dari skema *Audio Watermarking* yang menggunakan *Wavelet Transform* telah terbukti memiliki kinerja yang baik dalam beberapa tahun terakhir karena karakteristik multi-resolusi [6]. Bagaimanapun, *Wavelet Transform* Klasik membutuhkan perhitungan yang luas dan kompleks serta memiliki penyimpanan yang lebih tinggi. Selain itu, biasanya *Wavelet Transform* klasik ini menghasilkan angka *floating* dan juga sinyal asal dari audio tidak dapat direkonstruksi karena panjang kata maupun *text* yang disisipkan terbatas sehingga membatasi kinerja audio *watermark* sampai dengan batas tertentu [3].

Sebuah algoritma *Lifting Wavelet*, dimana sinyal disisipkan ke dalam koefisien *sub band* dengan memanfaatkan metode kuantisasi, Hal ini menunjukkan bahwa deteksi *audio watermarking* dapat diimplementasikan dengan cepat tanpa sinyal asli, namun metode tersebut tidak terbukti sangat kuat terhadap berbagai serangan [12]. Sehingga, ditingkatkan algoritma dengan metode lain dari kuantisasi yang lebih kuat, yaitu dengan penyisipan *watermarking* melalui modifikasi komponen frekuensi tengah dan watermark yang terdeteksi dengan menghubungkan pendekatan. Namun pendekatan ini tidak lagi baik terutama dalam kaitannya dengan kompresi MP3. Oleh karena itu, diusulkan sebuah strategi untuk penyisipan watermarking ke dalam nilai rata rata dari sub band koefisien dengan kuantisasi dalam domain LWT. Metode ini terbukti sangat kuat terhadap serangan umum [13].

Algoritma *audio watermarking* berdasarkan *Lifting Wavelet* diatas mewujudkan penyisipan *watermark* dengan memodifikasi satu atau beberapa koefisien *sub band* diposisi khusus. Jadi bergantung pada keselarasan yang tepat dari sinyal *watermark audio* yang harus dideteksi dan sinyal asal ketika penyisipan *watermark*. Setelah posisi itu hilang, *watermark* yang tepat tidak dapat dideteksi dengan cara yang sederhana termasuk sinyal sinkronisasi sementara penyisipan *watermark*, dan proteksi dimulai setelah sinyal sinkronisasi terletak. Meskipun metode ini dapat menahan beberapa serangan umum, *watermark* yang tepat masih tidak dapat dideteksi jika sinyal mengandung watermark yang dipotong (*cropping*) [7].

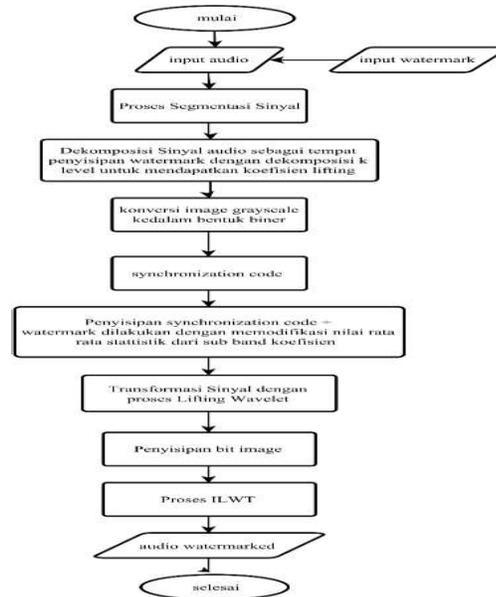
Penelitian [14] mengusulkan suatu algoritma yang digunakan untuk penyisipan watermarking menjadi gambar dengan mengangkat transformasi wavelet (LWT). Penelitian ini membuktikan bahwa LWT tidak hanya dapat mengurangi kompleksitas pengolahan gambar saat memasukkan watermarking, tetapi juga menyerap beragam serangan, sehingga algoritma memiliki ketahanan yang lebih baik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, algoritma *audio watermarking* dengan *lifting wavelet* berdasarkan karakteristik statistik pada *sub band* koefisien yang diusulkan. Sebelum penyisipan *watermarking* ditambahkan kode sinkronisasi yang membuat *watermark* disinkronisasi dan menyisipkan *watermark* kedalam karakteristik statistik dari *sub band* koefisien yang tidak sensitif terhadap berbagai serangan. Hasil dari penelitian ini diharapkan, dengan metoda yang digunakan secara efektif dapat menahan serangan pengolahan sinyal umum dan memiliki ketahanan yang kuat terhadap *cropping*.

## 2. Pembahasan

Dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan metode *Lifting Wavelet* berdasarkan karakteristik statistik pada *sub band* koefisien dan melakukan proses optimasi dengan menggunakan algoritma genetika. Dalam kasus *watermarking* akan melewati 2 tahap pemrosesan sinyal, tahap pertama adalah penyisipan (*embedding*) yaitu proses penyisipan informasi yang diinginkan berupa *image grayscale* pada audio sehingga audio yang dihasilkan sudah disisipi oleh informasi image tersebut. Tahap kedua adalah proses ekstraksi, dilakukan pada sinyal audio yang sudah tertanam informasi kemudian dilakukan proses pendetesian informasi yang disisipkan sehingga mendapatkan nilai BER dengan membandingkan bit penyisipan di awal dan bit hasil ekstraksi. Untuk menguji ketahanan audio yang telah disisipkan informasi berupa *image grayscale* diberikan serangan pemrosesan sinyal umum yaitu LPF, *noise*, *random cropping*, *resampling*, serta *kompresi* MP3. Setelah dilakukan pencapaian serangan, dilakukan optimasi dengan menggunakan algoritma genetika agar mendapatkan parameter *audio watermarking* yang paling optimal.

## 3. Proses penyisipan

Perancangan model sistem *embedding audio watermarking* dengan menggunakan metoda *lifting wavelet transform* berdasarkan karakteristik statistik dengan *sub band* koefisien ditunjukkan pada gambar 3.3. Pertama-tama, sinyal audio asli tersegmentasi dan masing-masing segmen dibagi menjadi dua bagian. Kemudian, kode Barker digunakan untuk sinkronisasi, Dekomposisi sinyal audio sebagai tempat penyisipan *watermark* dilakukan dengan dekomposisi k level untuk mendapatkan koefisien *lifting wavelet* LWT (*Lifting Wavelet Transform*) dilakukan pada setiap bagian, sebelum *embedding* ditambahkan kode sinkronisasi yang membuat *watermark* disinkronisasi dan *watermark* yang disisipkan ke dalam karakteristik statistik dari koefisien *sub-band* sehingga didapat *watermarked audio*. Pada proses penyisipan ini dihitung nilai PSNR dan PEAQ.



Gambar 1. Diagram alir penyisipan (*embedding*)

#### 4. Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi dalam skema yang diusulkan tidak memerlukan sinyal asli dapat dilihat pada gambar 2.2 dan prosedur ekstraksi tersebut dapat diringkas sebagai berikut :

1. Cari posisi awal dari segmen yang tertanam menggunakan teknologi *frame* sinkronisasi komunikasi *digital*.
2. Menghitung koefisien *sub-band* dari watermark yang tertanam dibagian audio dengan melakukan LWT *k-level* di atasnya.
3. Ekstrak watermark yang tertanam menggunakan persamaan berikut :

$$V(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \overline{Sa(i)^k} > 0, \\ -1, & \text{if } \overline{Sa(i)^k} < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Dimana  $\overline{Sa(i)^k}$  adalah nilai rata-rata statistik dari  $Sa(i)^k$ .

1. Ulangi langkah diatas sampai seluruh sinyal watermark tertanam diekstrak, dan akhirnya sebuah *watermark* V optimal
2. Kemudian hitung BER

Penentuan nilai BER dilakukan dengan cara menghitung persentase antara jumlah bit yang mengalami kesalahan dengan jumlah bit keseluruhan sebelum proses *watermarking*. BER bernilai dari skala nol hingga skala satu. BER akan bernilai nol jika bit pengujian yang dilakukan tidak memiliki kesalahan sama sekali. Sebaliknya, BER akan bernilai satu jika semua bit hasil pengujian mengalami kesalahan. Berikut adalah rumus untuk perhitungan nilai BER [8]:

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit salah}}{\text{Jumlah bit total}} \times 100\% \quad (2.2) \quad (2)$$

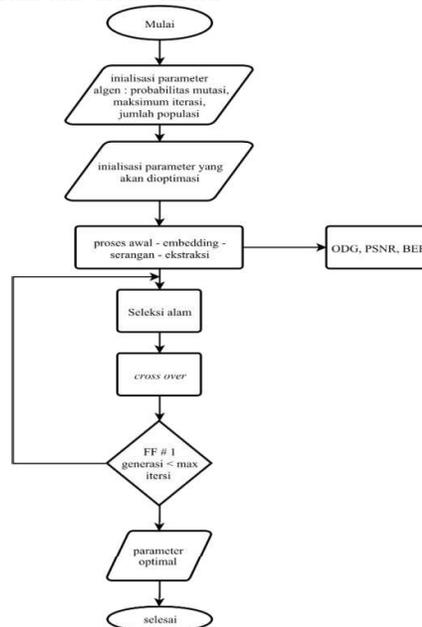


Gambar 2. Diagram Alir Ekstraksi

### 5. Skema Optimasi dengan Algoritma Genetika

Proses optimasi audio watermarking dilakukan dengan algoritma Genetika dimana tahapan pertama melakukan inialisasi populasi dari parameter masukan berupa *k-level*, sehingga mendapatkan parameter baru dan pada proses penyisipan dengan menghitung nilai PSNR dan PEAQ. Setelah mendapatkan audio *watermarked* dan mengujinya dengan beberapa serangan , dimana setiap serangan yang memenuhi ekstraksi dengan menghitung nilai BER, kemudian menetapkan nilai *fitness*, melakukakn seleksi dan *Hybridd crossover* pada masing masing parameter dan melakukan pemberhentian sehingga dicapai parameter audio *watermarrking* yang optimal.

Proses optimasi pada *audio watermarking* dengan menggunakan algoritma genetika dengan beberapa tahapan, ditunjukkan pada diagram alir dibawah ini



Gambar 3. Diagram Optimasi

### 6. Hasil dan Analisis

BAB ini membahas mengenai hasil pengujian teknik *watermark* yang telah diimplementasikan pada *host* audio. Pengujian dari teknik *watermark* dilakukan dengan program yang di buat menggunakan

*software* MATLAB, dalam pengujian ketahanan *watermark* pada audio terhadap serangan dengan 5 *file* audio yang berbeda jenis. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui apa saja yang berpengaruh terhadap kualitas dan ketahanan *host* audio dengan teknik *watermarking* yang diimplementasikan. Dari hasil analisis tiap komponen dilakukan optimasi dengan algoritma genetika sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana menggunakan parameter yang ada untuk mendapatkan hasil terbaik dengan metode LWT dan telah dioptimasi dengan algoritma genetika. *File* yang digunakan untuk pengujian adalah sebagai berikut:

Semua Sinyal audio yang diuji dalam penelitian ini dalam file wav dengan 16 bit / sampel dan frekuensi sampel 44.1 kHz. Sebuah citra biner berukuran 50 x 50 piksel digunakan sebagai citra grayscale yang disisipkan kode Baker 16 bit 1111100110101110 digunakan untuk sinkronisasi. Dengan menggunakan dekomposisi level 1 pada lifting wavelet yang mana pada proses *embedding* dari satu bit kode sinkronisasi membutuhkan sampel  $SL = 128$ , dan membutuhkan satu bit *watermark* sampel  $WL$  dengan nilai  $WL = 256$ .

### 7. Ketahanan watermark terhadap serangan Low Pass Filter (LPF)

File audio yang telah melewati proses penyisipan dibandingkan dengan audio yang diberi serangan dengan *filtering*. Dalam pengujian pertama diberikan serangan dengan LPF. Frekuensi *cut-off* yang digunakan berada pada frekuensi 3 KHz, 6 KHz dan 10 KHz. Berikut hasil BER pada *audio watermarked* yang di berikan serangan LPF:

Tabel 1. Serangan LPF terhadap BER

Frekuensi cutt-off	Audio 1	Audio 2	Audio 3	Audio 4	Audio 5
3kHz	0,142	0,0325	0,0423	0,04	0,0536
6 kHz	0,04	0,0021	0,016	0,0016	0,04
10 kHz	0,0036	0,0016	0,004	0,00416	0,0012

Dapat terlihat bahwa penggunaan frekuensi *cut-off* pada frekuensi 3 KHz, 6 KHz dan 10 KHz menghasilkan BER dengan nilai mendekati nol di seluruh audio yang diuji Hal ini dikarenakan pada proses penyisipan, informasi disisipkan pada *sub-band* LWT pada frekuensi rendah sehingga ketika diuji dengan LPF audio *audio watermark* dengan metode ini memiliki tingkat ketahanan yang tinggi.

### 8. Ketahanan watermark terhadap serangan noise

Pada pengujian ini dilakukan dengan penambahan *noise* berupa *white noise* yang memiliki variansi 0,01.

Tabel 2. Serangan penambahan *noise* terhadap BER

Audio	Audio 1	Audio 2	Audio 3	Audio 4	Audio 5
BER	0	0	0	0	0

Dari tabel terlihat bahwa audio memiliki BER 0 yang sangat tahan terhadap serangan penambahan *noise* yang diberikan.

### 9. Ketahanan watermark terhadap resampling

Serangan dengan *resampling* dilakukan dengan mengubah nilai *sample* pada sinyal yang sudah diberi *watermark*. Nilai *sampling* audio diturunkan dari frekuensi sampel awal yaitu 44100 Hz menjadi 11025 Hz, 16000 Hz, 22050 Hz, kemudian dikembalikan lagi ke nilai frekuensi sampe awal yaitu 44100 Hz. Hasil pengujian *resampling* sebagai berikut:

Tabel 3. Serangan *resampling* terhadap BER

Freekuensi sampel	Audio 1	Audio 2	Audio 3	Audio 4	Audio 5
11025 Hz	0,0942	0,0782	0,00416	0,0016	0,00246
16000 Hz	0,056	0,0046	0	0	0
22050 Hz	0,004	0	0	0	0

Dari tabel 2.3 dapat dibuktikan bahwa watermark tahan terhadap serangan resampling ini terbukti dengan nilai BER mendekati 0 disemua jenis audio yang diuji.

### 10. Ketahanan watermark terhadap kompresi MP3

Pengubahan *bit rate* yang terdapat pada file wav dengan *bit rate* MP3 yang berbeda-beda merupakan serangan Kompresi MP3. Pada format file MP3 *bit rate* memiliki file yang berbeda-beda oleh karena itu, dilakukan proses serangan dengan kompresi MP3 ini. Pada pengujian ini *watermark* tahan terhadap kompresi MP3 karena nilai BER bernilai nol.

Tabel 4. Serangan kompresi MP3 terhadap BER

Bit Rate	Audio 1	Audio 2	Audio 3	Audio 4	Audio 5
96 kbit/s	0	0	0	0	0
128 kbit/s	0	0	0	0	0
160 kbit/s	0	0	0	0	0
196 kbit/s	0	0	0	0	0

### 11. Ketahanan watermark terhadap cropping

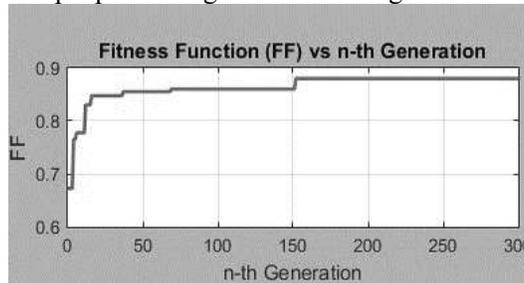
*Cropping* merupakan salah satu serangan ataupun gangguan yang dilakukan dengan memotong panjang sinyal. Pada penelitian ini, *random cropping* yang dilakukan adalah memotong 10% bagian awal audio, sehingga menyisakan 90% panjang audio awal. *Watermark* sangat tahan dengan serangan *random cropping* ini karena BER yang dihasilkan 0 disemua jenis audio

Tabel 5. Serangan *cropping* terhadap BER

Audio	Audio 1	Audio 2	Audio 3	Audio 4	Audio 5
BER	0	0	0	0	0

### 12. Analisis Pengujian Parameter yang paling Optimal dengan menggunakan algoritma genetika

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian program dengan jumlah populasi sebanyak 20, probabilitas mutasi sebesar 0,5, dan maksimal generasi ditetapkan sebanyak 300 generasi. Hasil dari pengujian program ini dapat dilihat pada gambar 4.1 yaitu grafik nilai FF terhadap banyaknya jumlah generasi. Nilai parameter optimal akan didapat pada saat generasi dimana grafik mulai terlihat konstan.



Gambar 4. Grafik Nilai FF terhadap jumlah generasi

Pada Gambar 4 grafik nilai FF terhadap jumlah generasi, dapat dilihat bahwa grafik mulai konstan pada generasi  $\pm 200$  sehingga tidak diperlukan pengujian atau *running* program sebanyak 300 generasi. Tabel 6 berikut merupakan 10 nilai FF terbaik dari gambar 3.1 yang berisi parameter teroptimasi yang dihasilkan dari pengujian atau *running* program.

Tabel 6. Parameter optimasi dari *running* program

FF	Nframe	Alfa	Subband	BER	ODG	PSNR	MSE
0,735	234	0,85714	low	0,0652	-1,8796	26,8692	0,0020563
0,825	252	0,9526	low	0,00164	-1,883	28,3409	0,0014652
0,835	254	1	low	0,002	-1,905	28,2005	0,0015134
0,8425	252	1	low	0,006	-1,8945	25,2169	0,0030082
0,8575	248	1	low	0,004	-1,8797	28,249	0,0014966
0,865	246	1	Low	0,0112	-1,9015	28,3252	0,0014705
0,875	254	1	Low	0,0016	-1,9047	25,1913	0,003026
0,880	250	1	Low	0,00304	-1,8943	25,2512	0,0028945
0,8825	244	1	Low	0,00484	-1,883	28,3409	0,0014652
0,8875	244	1	Low	0,00484	-1,883	28,3409	0,0014652

FF	Nframe	Alfa	Subband	BER	ODG	PSNR	MSE
0,890	244	1	Low	0,0096	-1,8819	28,3406	0,0014654

Dari tabel 6 terlihat bahwa nilai FF yang didapat sebesar 0,0890, *nframe* sebanyak 244, nilai alfa sebesar satu dan *subband* LWT pada *subband low* yaitu frekuensi penyisipan pada frekuensi rendah. Dan parameter output yang didapatkan yaitu BER sebesar 0,000484, ODG senilai -1,8819, MSE = 0,001465 PSNR= 28,3409.

Dengan tiga parameter yang telah dioptimasi, kemudian parameter tersebut digunakan pada proses *embedding* (penyisipan) untuk mendapatkan *file* audio *terwatermark* yang dibandingkan dengan *host* audio

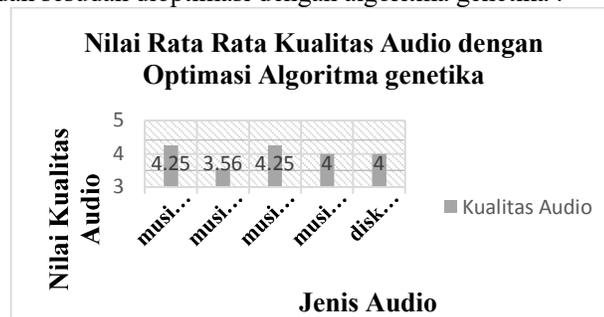
Tabel 7. Parameter hasil penyisipan

<i>File</i>	Nframe	ODG	MSE	PSNR	BER
watermarked_wav	244	-1,884	0,00137	28,542	0.00484

Tabel diatas menunjukkan parameter hasil penyisipan. Kualitas audio yang didapatkan tergolong baik dengan BER bernilai 0,00484.

### 13. MOS (Mean Opinion Score)

Hasil survey terhadap 30 korespon dapat dilihat pada gambar 4.3. Berikut merupakan grafik hasil survey MOS sebelum dan sesudah dioptimasi dengan algoritma genetika :



Gambar 2.5 Grafik hasil survey MOS sebelum dan sesudah watermark dan dioptimasi dengan algoritma genetika

Berdasarkan gambar grafik 2.5 diatas, hampir keseluruhan responden sependapat bahwa audio *watermarking* dengan metode *lifting wavelet* dengan memodifikasi rata rata statistik dan dioptimasi dengan algoritma genetika yang dihasilkan sudah baik yaitu dengan nilai rata-rata minimum 4.012 di mana watermark terasa sedikit tapi tidak mengganggu. Hal tersebut terbukti saat pengujian secara objektif yang menghasilkan nilai PSNR yang baik yaitu > 20 dB, dan BER yang sangat baik pula dengan nilai minimum 0 pada nilai BER sebelum diberikan serangan.

### 14. Simpulan

Setelah melakukan analisis dari setiap pengujian yang sudah dilakukan, bab ini berisi tentang kesimpulan selama penelitian dilakukan, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Pengujian yang dilakukan dengan 5 *test-bed*, yaitu serangan terhadap audio yang sudah disisipkan menguji apakah informasi di dalam sinyal dapat dirusak atau tidak, didapatkan hasil terbaik pengujian yaitu *noise*, *resampling*, kompresi mp3 dengan BER yang hampir 0 disemua jenis audio.
2. PSNR/kualitas *audio watermarked* secara umum menurun, disebabkan trade off dengan naiknya nilai ketahanan
3. Ukuran frame mempengaruhi nilai PSNR, ODG, dan BER. Ukuran *frame* yang lebih kecil menghasilkan lebih banyak jumlah frame sehingga bit informasi yang disisipkan akan bisa lebih banyak dalam *host* audio.
4. Grafik FF yang dihasilkan untuk mendapatkan parameter optimal pada generasi  $\pm 220$  dimana grafik perubahan Nilai FF terhadap jumlah generasi terlihat konstan, yaitu dengan nilai FF= 0,0875

5. Algoritma genetika dengan teknik penyisipan koefisien lifting wavelet dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan *audio watermarked* karena nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,00484 yang tahan terhadap serangan LPF, *noise*, *resampling*, kompresi MP3 dan *cropping*.
6. Dengan adanya penerapan algoritma genetika menghasilkan parameter optimal yang digunakan pada proses penyisipan sehingga mampu menghasilkan parameter *output* yang paling optimal.
7. Pengujian dengan MOS yaitu mendapat hasil pada kondisi baik (*good*) terbanyak berada pada jenis audio

**Daftar Pustaka :**

- [1]. A. D. Setiarsih, T. A. Bw, and A. T. Wibowo. 2010. "Watermarking Audio dengan Menggunakan Metode Frequency Hopping Spread Spectrum ( FHSS )," pp. 1–12.
- [2]. B. Schneiner. 1994. *Applied Cryptography: Protocols, Algorithm, and Source Code in C*. Wiley. New York.
- [3]. Gao S.W. et al. 2 7. "Lifting wavelet transform and its application in digital watermarking". *Application Research of Computers*, 24, 6, 201–206.
- [4]. Hargtung, F., Kutter, M. 1998. "Multimedia watermarking techniques", *Proc. IEEE*, Vol. 86, 1079-1107.
- [5]. Petrovic, R. 2001. "Audio signal watermarking based on replica modulation", 5th International Conference TELSIKS'01, 227-234.
- [6]. Qiang Y., Wang Y. 2 4. " A Survey of Wavelet-domain Based Digital Image Watermarking Algorithm". *Computer Engineering and Applications*, 40, 11, 46–50.
- [7]. Qu J.Y. et al. 2 6." *Audio digital watermarking based on the lifting scheme wavelet transform*". *Computer & Digital Engineering*, 34, 4, 91–94.
- [8]. Suhono H. Supangkat, Kuspriyanto, Juanda. 2000. "Watermarking sebagai Teknik Penyembunyian Label Hak Cipta pada Data Digital". Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung.
- [9]. Suyanto. 2005. *Algoritma Genetika Dalam Matlab*. Yogyakarta :Andi Offset.
- [10]. S. Hussein. 2010. "Analisa Audio Watermarking Berbasis Teknik Replica Modulations Menggunakan Metode Phase Shifting Replica Audio Watermarking.", Telkom Universit.
- [11]. Sweldens W. 1997. "The lifting scheme: a construction of second generation wavelets". *SIAM Journal Mathematical Analysis*, 29, 2, 511–546.
- [12]. Wang X.Y. et al. 2 5. "Content-based adaptive digital audio watermarking algorithm in wavelet domain". *Mini-Micro Systems*, 26, 8, 1354–1357.
- [13]. Xu D.W., Wang R.D. 2006. "A blind audio watermarking algorithm based on convolutional codes". *Computer Applications*, 26, 7, 1649–1651
- [14]. Zh -hua, Xian-; Jun-bo Wei. 2012. "Audio watermarking scheme based on lifting wavelet transform". *ICT and Energy Efficiency and Workshop on Information Theory and Security (CICT)*.