

**ANALISIS AUDIO WATERMARKING BERBASIS DISCRETE WAVELET
TRANSFORM DENGAN METODE QR DECOMPOSITION DAN QUANTIZATION
INDEX MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

**ANALYSIS AUDIO WATERMARKING BASED ON DISCRETE WAVELET
TRANSFORM USING QR DECOMPOSITION AND QUANTIZATION INDEX
USE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

Thoriq Bayu Aji¹, Jangkung Raharjo², Ledya Novamizanti³

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

thoriqbayuaji@gmail.com, jangkungraharjo@telkomuniversity.ac.id, ledyaldn@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi internet pada era digital memberikan kemudahan untuk bertukar informasi kapan pun dan dimana pun. Namun kemudahan ini juga memiliki dampak negatif seperti pembajakan dan penyebaran secara ilegal terhadap data digital. Oleh sebab itu, diperlukan suatu solusi untuk memberikan tanda kepemilikan dari suatu data *audio*, salah satunya dengan menggunakan teknik *watermarking*. Dari segi keamanan data, teknik ini memiliki kriteria utama yaitu *transparency*, *robustness*, *imperceptibility*, dan *security*.

Dalam penelitian ini, dirancang suatu skema yang dapat melindungi hak kepemilikan dan orisinalitas data *audio*. Teknik *watermarking* yang digunakan berbasis pada DWT (*Discrete Wavelet Transform*) dan QRD (*QR Decomposition*), selanjutnya citra *watermark* disisipkan menggunakan QIM (*Quantization Index Modulation*). Setelah semua proses *watermarking* selesai, selanjutnya akan dioptimasi dengan metode PSO (*Particle Swarm Optimization*) kepada setiap jenis audio yang memiliki nilai BER paling buruk.

Host yang digunakan yaitu gitar, drum, piano, *Vocal* dan bass dengan format *.wav*. Hasil sistem audio *watermarking* yang dirancang setelah optimasi *Particle Swarm Optimization* menunjukkan hasil yang lebih baik dibanding sebelum dilakukannya optimasi. Parameter optimal setelah optimasi *Particle Swarm Optimization* yang paling tahan terhadap serangan yaitu pada audio Drums (serangan *Compression MP4 32k*) dengan level DWT 4, *nFrame* 512, *nbit* 3, *threshold* 0,0179 dan posisi penyisipan pada semua matriks R yang menghasilkan nilai ODG -2.5174, SNR 22.5417, BER 0, Kapasitas 5.3833.

Kata kunci : *audio watermarking, DWT, QRD, QIM, particle swarm optimization* .

ABSTRACT

Development of Internet technology in the digital age provides convenience to exchange information whenever and wherever. However, this convenience also have a negative impact such as piracy and illegal deployment of the digital data. Therefore, a solution is needed to give ownership marks of an audio data, one of solution by using *watermarking* technique. In terms of data security, this technique has the major criteria, some of which are *transparency*, *robustness*, *imperceptibility* and *security*.

This study was designed a scheme to protect copyright and originality of audio data. *Watermarking* technique use based on DWT (*Discrete Wavelet Transform*) and QRD (*QR Decomposition*) than watermark inserted with QIM (*Quantization Index Modulation*). After all the *watermarking* process is completed, the next will be optimized with *Particle Swarm Optimization* method to each type of *host audio* that has the worst BER value. .

The hosts used are guitar, drum, piano, *Vocals* and bass with the .wav format. The result of audio *watermarking* system after the optimization with *Particle Swarm Optimization* is better than before optimizing. Optimal parameter after optimizing which was most resistant to attack is Drums audio (Compression MP4 32 k) with DWT level 4, *nframe* 2, *nbit* 3, threshold 0,0179 and insert position on all R matrices which produces the value of ODG -2.5174, SNR 22.5417, BER 0, *Capacity* 5.3833.

Keywords : audio watermarking, DWT, QRD, QIM, particle swarm optimization

1. PENDAHULUAN

Pada era digital ini perkembangan dan pertumbuhan teknologi internet memberikan kemudahan untuk bertukar informasi kapan pun dan dimana pun. Kemudahan tersebut sebenarnya berdampak baik untuk masyarakat, namun dapat berdampak buruk jika digunakan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Tanpa ada nya hak cipta yang menandai kepemilikan data digital, setiap orang dapat dengan mudah untuk mengubah dan mengambil alih kepemilikan data digital tersebut. Data *digital audio* pada industri musik adalah salah satu sektor yang paling sering dilakukan pembajakan disetiap tahunnya. Hal tersebut tentu sangat merugikan berbagai pihak. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu cara untuk untuk menjamin kepemilikan data digital dan menghindari segala tindak ilegal. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan teknik *watermarking*.

Watermarking merupakan suatu teknik penyisipan informasi atau penanda (*watermark*) kedalam data digital utama (*host*) untuk menunjukkan keaslian dan kepemilikan. Pada penelitian kali ini teknik *watermarking* pada domain frekuensi ini metode yang digunakan berbasis pada DWT (*Discrete Wavelet Transform*), yang selanjut nya akan digunakan metode QRD (*QR Decomposition*) untuk mendekomposisi dan QIM (*Quantization Index Modulation*) untuk menyisipkan *watermark*. Kemudian dilakukan proses ekstraksi untuk mendapatkan kembali citra *watermark* untuk mendapatkan nilai BER. Setelah semua proses *watermarking* selesai, selanjutnya akan dioptimasi dengan metode *Particle Swarm Optimization*. Dengan menggunakan metode tersebut, diharapkan *file audio* yang dihasilkan dapat memiliki *robustness*, *error probability* dan juga *watermark* yang lebih baik.

Pada penelitian kali ini teknik *watermarking* pada domain frekuensi ini menggunakan metode yang berbasis pada DWT (*Discrete Wavelet Transform*), yang selanjut nya akan digunakan metode QRD (*QR Decomposition*) untuk mendekomposisi dan QIM (*Quantization Index Modulation*) untuk menyisipkan *watermark*. Kemudian dilakukan proses ekstraksi untuk mendapatkan kembali citra *watermark* untuk mendapatkan nilai BER. Setelah semua proses *watermarking* selesai, selanjutnya akan dioptimasi dengan metode *Particle Swarm Optimization*.

2. DASAR TEORI

2.1 *Watermarking*

Watermarking merupakan suatu cara untuk penyembunyian atau penanaman data/informasi tertentu baik hanya berupa catatan umum maupun rahasia ke dalam suatu data digital lainnya, tetapi tidak mudah

dirasakan kehadirannya oleh indera manusia diantaranya indera penglihatan atau indera pendengaran, dan mampu menghadapi proses- proses pengolahan sinyal digital sampai pada tahap tertentu [1].

2.2 Audio Watermarking

Audio watermarking adalah penanaman data digital yang unik pada sinyal audio yang bertujuan untuk menunjukkan hak cipta, keaslian, dan kepemilikan. Beberapa kondisi yang perlu diperhatikan dalam merancang sistem *audio watermarking* yaitu sebagai berikut :

1. Transparency

Syarat utama dari *watermarking* adalah *transparency*. *Watermark* yang telah tertanam sebagai informasi pemilik tidak harus menurunkan kualitas sinyal *host*. *Watermark* tidak bisa dilihat oleh mata manusia atau tidak didengar oleh telinga manusia. Hal ini dapat dideteksi dengan pengolahan khusus atau algoritma khusus.

2. Robustness

Watermark tertanam tidak harus dihapus dari sinyal audio *host* bahkan setelah menjelajahi informasi *watermark* untuk berbagai jenis serangan. Ketahanan adalah salah satu masalah desain utama untuk semua aplikasi *watermarking*. *watermark* harus tahan terhadap berbagai serangan pemrosesan sinyal seperti *noise*, kompresi, *resampling* dll.

3. Data Rate

Jumlah data *watermark* yang disisipkan dalam *host signal* disebut sebagai data *payload/capacity*. Pada audio, data *payload* mengacu pada jumlah bit yang tertanam ke *host audio* dalam satuan waktu, diukur dengan *bit persecond bps* [2].

2.3 Discrete Wavelet Transform (DWT)

Dalam DWT, sinyal dibagi menjadi sub-band frekuensi tinggi dan sub-band frekuensi rendah menggunakan filter wavelet. Bagian frekuensi rendah dibagi lagi menjadi frekuensi tinggi dan rendah. Proses ini diulangi hingga beberapa kali sesuai dengan level dekomposisi. Nilai x pada sinyal DWT dapat dihitung dengan cara melewatkan sinyal x melalui serangkaian proses *filtering*. Pertama sinyal x dilewatkan melalui *low pass filter* kemudian sinyal tersebut juga di dekomposisi secara simultan melalui *high pass filter*. Hasil dari dekomposisi ini mendapatkan *detail coefficients* yang merupakan hasil dari *high pass filter* dan *approximation coefficients* yang merupakan hasil dari *low pass filter*. Kemudian *output* dari filter tersebut di *subsample* dengan persamaan sebagai berikut :

$$y_{low}[n] = (x * g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]G[2n - k] \quad (2.1)$$

$$y_{high}[n] = (x * g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]H[2n - k] \quad (2.2)$$

dimana $y_{high}[n]$ dan $y_{low}[n]$ adalah hasil dari *high pass filter* dan *low pass filter*, X merupakan sinyal asal, H adalah *high pass filter*, dan G adalah *low pass filter*. Proses dekomposisi ini telah mengurangi separuh ukurannya karena hanya setengah dari setiap *output filter* yang mencirikan sinyal. Namun, setiap *output* memiliki setengah pita frekuensi dari *input* sehingga ukuran frekuensi menjadi dua kali lipat. Sinyal asli dipulihkan kembali dengan cara yang sama menggunakan *inverse DWT*[3].

2.4 QR Decomposition

QR *Decomposition* pada dasarnya digunakan untuk membagi satu matriks menjadi dua matriks, yaitu matriks ortogonal dan matriks segitiga. QR *Decomposition* juga dikenal sebagai QR faktorisasi [3]. Matriks A pada QR *Decomposition* dibagi menjadi dua matriks yaitu matriks Q dan matriks R dengan ukuran $M1 \times M2$ dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_{M1 \times M2} = Q_{M1 \times M1} R_{M1 \times M2} \quad (2.3)$$

dimana Q adalah matriks orthogonal dan R adalah matriks segitiga. Dalam sejumlah besar pemrosesan data, efisiensi dekomposisi QR jelas [4].

2.5 Quantization Index Modulation (QIM)

Quantization Index Modulation adalah metode penolakan gangguan interferensi yang diusulkan oleh Chen- Wornell. Dalam metode ini sinyal *host* dikuantisasi dalam data *watermark* dengan dua atau sebuah urutan *quantizers*, di mana masing-masing *quantizers* ini memiliki indeks sendiri yang dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$S(x, m) = Q_m(x) \quad (2.4)$$

dimana x adalah *host* sinyal audio, m adalah *watermark* data dan $Q_m(x)$ adalah fungsi kuantisasi. Untuk pelaksanaan QIM *encoding* dan *decoding dither modulation* dapat digunakan.

2.6 Particle Swarm Optimization

Pada algoritma PSO ini diawali dengan berisikian partikel random, dimana masing-masing partikel merupakan kandidat solusi terbaik dari masalah. Setiap partikel i memiliki posisi P_{id} dan kecepatan V_{id} . Partikel-partikel tersebut mencari nilai yang optimal berdasarkan nilai fitness dengan cara iterasi, dengan tetap melacak posisi terbaik lokal P_{id}^{best} dan mencari posisi terbaik global P_{global}^{best} dari semua posisi terbaik local dalam sebuah ruangan. Pada setiap iterasi atau pengulangan algortimanya, akan dilakukan pembaruan nilai velocity dan posisi menuju posisi terbaik dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{id}(t + 1) = C_0 \times V_{id}(t) + C_1 R_1 (P_{id}^{best}(t) - X_{id}(t)) + C_2 R_2 (P_{glb}^{best}(t) - X_{id}(t)) \quad (2.5)$$

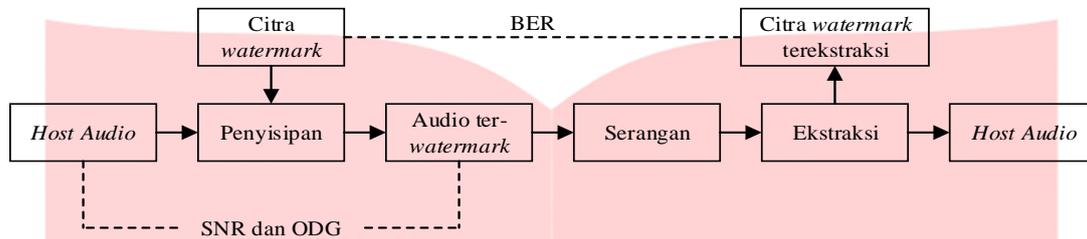
$$X_{id}(t + 1) = X_{id}(t) + V_{id}(t + 1) \quad (2.6)$$

dimana C_0 adalah parameter yang mengontrol kecepatan dari partikel yang disebut juga inertia weight. C_1 dan C_2 adalah konstanta positif yang disebut parameter kognitif dan sosial yang digunakan untuk mengontrol seberapa jauh suatu partikel akan bergerak dalam satu iterasi. Kemudian R_1 dan R_2 adalah angka acak secara seragam yang bernilai 0 atau 1 yang digunakan untuk meningkatkan sifat acak PSO. Koefisien-koefisien tersebut mengontrol seberapa jauh partikel bergerak dalam satu iterasi. V_{id} adalah jarak seberapa jauh partikel i bergerak yang dibatasi dengan $[V_{min}, V_{max}]$, dimana V_{min} dan V_{max} adalah batas minimum dan maksimum jarak perpindahan dalam setiap iterasi [6][7].

3. PERANCANGAN SISTEM

Pada perancangan sistem ini, pertama dilakukan proses penyisipan data *watermark* yang berupa citra digital kedalam *file audio (host)*. Proses penyisipan ini akan menghasilkan *file audio ter-watermark (audio*

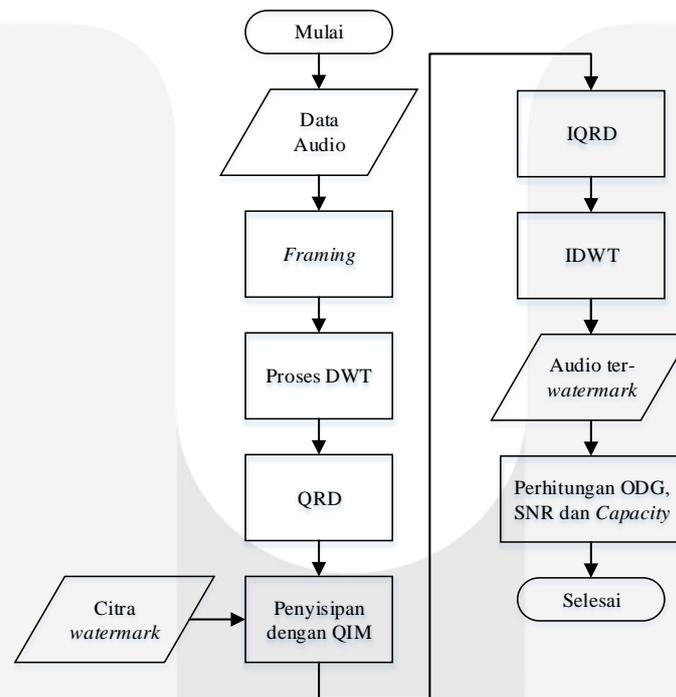
watermarked) yang kemudian akan dilakukan pengujian ketahanan, kualitas dan kapasitas. Proses selanjutnya adalah ekstraksi dimana *audio watermarked* di transformasi menggunakan metode *discrete wavelet transform* (DWT) kemudian dilakukan dekomposisi menggunakan metode *QR decomposition* dan dikuantisasi dengan *Quantization Index Modulation* (QIM) untuk mendapatkan kembali data *watermark*.



Gambar 3.1. Tahap perancangan watermarking

3.1 Proses Embedding Watermark

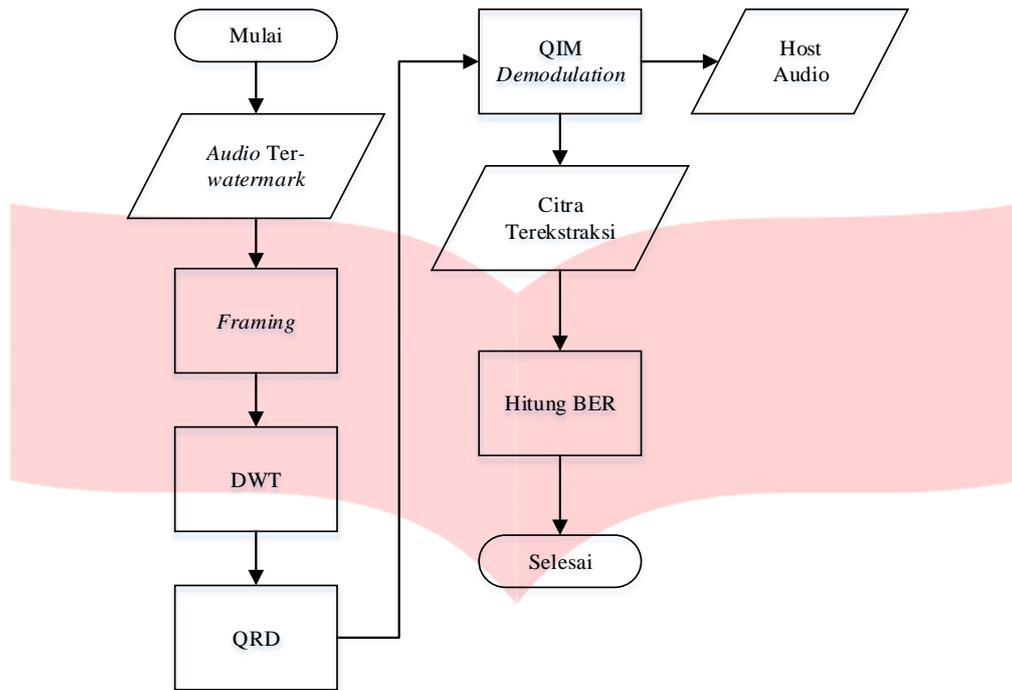
Proses tahap penyisipan dimulai dengan penginputan audio yang kemudian akan melewati tahapan transformasi *Discrete Wavelet Transform*. Kemudian akan dilakukan dekomposisi dengan metode *QR decomposition* dan dikuantisasi dengan metode *Quantization Index Modulation* (QIM).



Gambar 3.2. Diagram alur proses embedding watermark

3.2 Proses Extraction Watermark

Proses ekstraksi disini hampir serupa dengan proses penyisipan *watermark* kedalam *host audio*. Pertama, sinyal *audio watermarked* terbagi menjadi beberapa *frame* dengan panjang yang sama. Pada setiap *frame* dilakukan proses DWT yang kemudian didekomposisi dengan cara *QR decomposition* untuk mendapatkan koefisien R yang selanjutnya akan di demodulasi menggunakan *QIM demodulation*. Serangkaian proses tersebut menghasilkan hasil ekstraksi berupa data *watermark*. *Watermark* ini kemudian dibandingkan dengan data *watermark* asli yang sebelumnya disisipkan kedalam *host*.



Gambar 3.3. Diagram alur proses extraction watermark

3.3 Parameter Pengujian

1 Bit Error Rate (BER)

BER merupakan parameter pengukuran obyektif juga yang dipakai untuk mengukur ketepatan data hasil ekstraksi pesan tersembunyi yang disisipkan pada file audio dengan cara menghitung persentase bit yang salah dari hasil ekstraksi dengan bit keseluruhan sebelum dilakukan penyisipan. Parameter pengujian ini dilakukan untuk mengukur ketahanan (*robustness*) sistem. Secara matematis, nilai BER dapat dihitung dengan [8] :

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{jumlah bit seluruhnya}} \times 100\% \quad (3.1)$$

2. Signal-to-Noise (SNR)

Signal to noise ratio (SNR) adalah ukuran yang digunakan untuk membandingkan level sinyal yang diinginkan dengan level noise yang terjadi, atau dapat juga dikatakan bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat transparansi dari watermark dalam audio watermarked. Hal ini didefinisikan sebagai rasio daya sinyal dengan daya noise, biasanya dinyatakan dalam decibel (dB). Disini sistem akan dievaluasi secara matematis, yaitu [3] :

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=1}^N S^2(n)}{\sum_{n=1}^N [S(n) - \hat{S}(n)]^2} \quad (3.2)$$

dimana $S(n)$ adalah sinyal audio asli dan $\hat{S}(n)$ adalah sinyal watermarked audio.

3. Objective Difference Grade (ODG)

ODG merupakan penilaian kualitas audio secara obyektif berdasarkan rekomendasi ITU-R BS. 1387. Ini sesuai dengan tingkat perbedaan subyektif yang digunakan dalam tes audio berbasis manusia. Rentang penilaian ODG berkisar antara 0.0 hingga -4.0 yang merupakan estimasi dan akurasi dari penurunan audio serta membandingkan antara sinyal audio *output* dengan sinyal audio asli [9] disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Objective Different Grafe (ODG)

Skala ODG	Deskripsi Kerusakan	Kualitas
0	Tidak terdengar	Baik Sekali
-1	Terdengar, tapi tidak mengganggu	Baik
-2	Sedikit mengganggu	Cukup
-3	Mengganggu	Buruk
-4	Sangat mengganggu	Buruk

4. Payload or Capacity (C)

Data payload mengacu pada jumlah bit yang pada tertanam ke *host audio* dalam satuan waktu, diukur dengan *bit persecond bps*. Dapat diasumsikan bahwa tingkat sampling audio adalah R (Hz) *persecond* dan tingkat dekomposisi wavelet (DWT) adalah K , dan B adalah kapasitas penyisipan *watermark* yang didefinisikan sebagai berikut [10]:

$$B = R/2^k \text{ bit per second} \quad (3.3)$$

5. Mean Opinion Score (MOS)

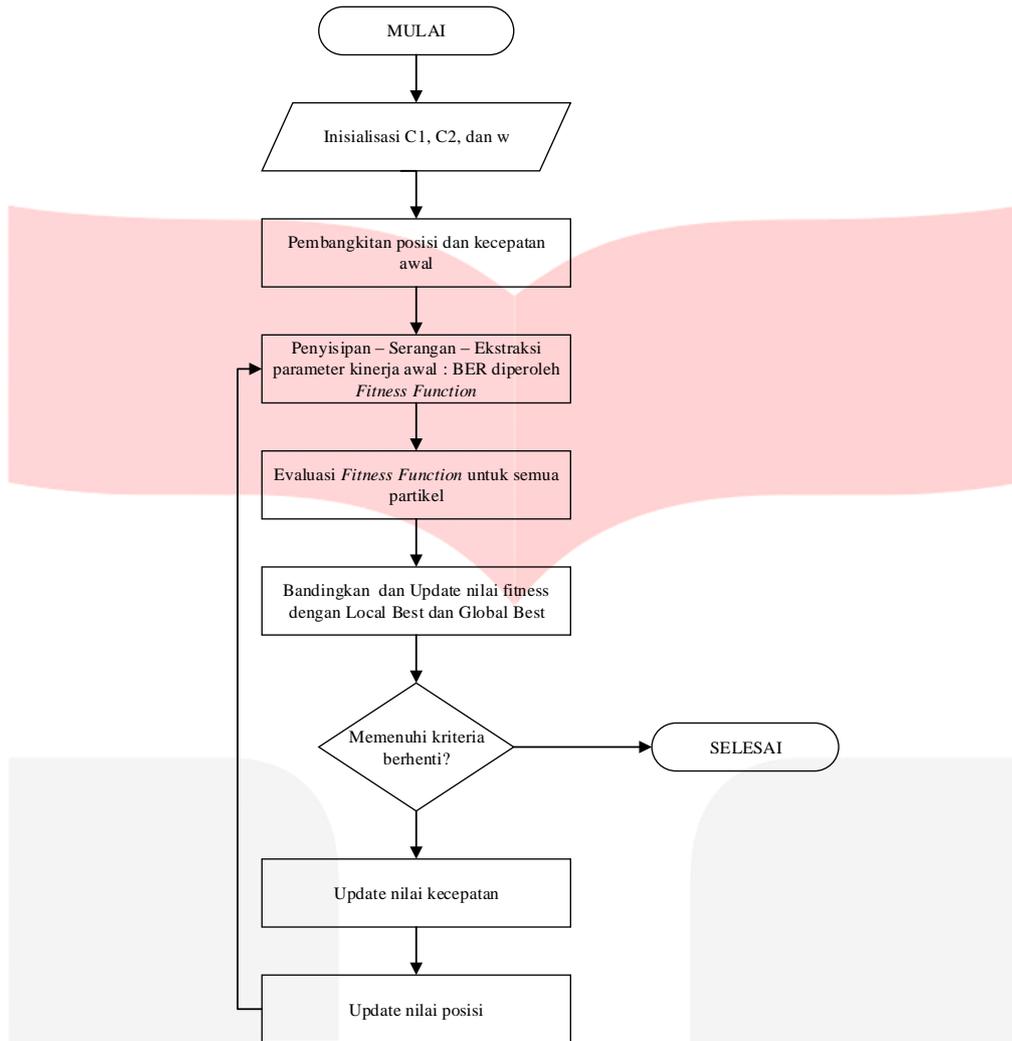
Dasar dari pengujian subyektif terletak pada karakteristik indra pendengaran manusia. Pengujian secara subyektif umumnya dilakukan dengan mengukur *Mean Opinion Score (MOS)* berdasarkan kriteria yang disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 MOS (Mean Opinion Score)

Score	Kualitas	Level Distorsi
1	<i>Bad</i> (Buruk)	<i>Watermark</i> mengganggu sekali, audio tidak dapat terdengar.
2	<i>Poor</i> (Kurang)	<i>Watermark</i> mengganggu sekali, audio dapat terdengar.
3	<i>Fair</i> (Cukup)	<i>Watermark</i> terasa dan sedikit mengganggu.
4	<i>Good</i> (Baik)	<i>Watermark</i> terasa sedikit tapi tidak mengganggu.
5	<i>Excellent</i> (Amat Baik)	<i>Watermark</i> tidak terdengar.

3.4 Proses Optimasi

Setelah semua proses diatas selesai, didapatkan hasil analisis serangan dan *BER* dari system tersebut, diharapkan memiliki hasil yang sangat baik. Namun apabila hasil yang didapat tidak sesuai kriteria, maka dilakukan proses optimasi dengan metode *Particle Swarm Optimization* yang dapat dilihat digambar 5.



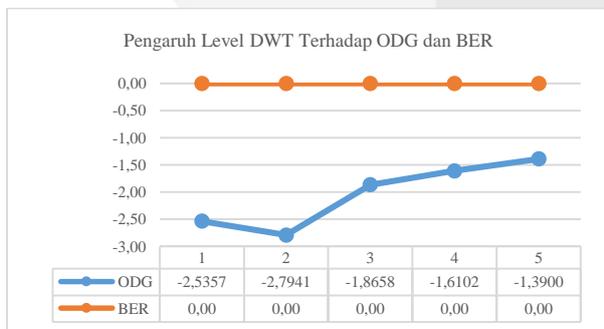
Gambar 3.4. Proses optimasi

4. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Tanpa Optimasi Particle Swarm Optimization (PSO)

A. Pengaruh Level DWT

Berikut merupakan hasil pengaruh Level DWT terhadap audio watermarking sebelum dilakukan optimasi pada Audio Drums.



Gambar 4.1. Pengaruh Level DWT Terhadap ODG & BER

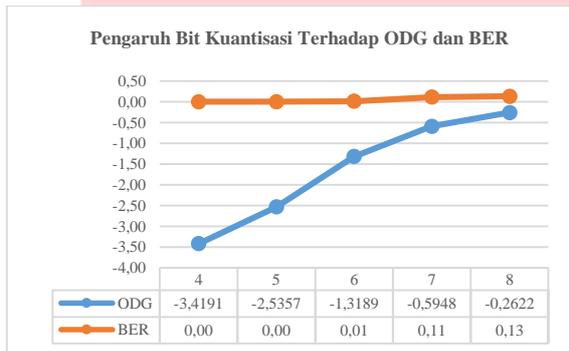


Gambar 4.2. Pengaruh Level DWT Terhadap SNR

Dari hasil pengujian diatas, dapat diketahui bahwa level DWT mempengaruhi nilai ODG, SNR, dan Kapasitas. Semakin besar lever DWT maka nilai ODG dan SNR cenderung mengalami kenaikan pula namun berbanding terbalik dengan nilai kapasitas yang semakin menurun. Untuk nilai BER yang dihasilkan cenderung stabil pada setiap kenaikan level DWT.

B. Pengaruh Bit Kuantisasi

Berikut merupakan hasil pengaruh bit kuantisasi terhadap audio watermarking sebelum dilakukan optimasi pada Audio Drums.



Gambar 4.3. Pengaruh Panjang Bit Terhadap ODG & BER

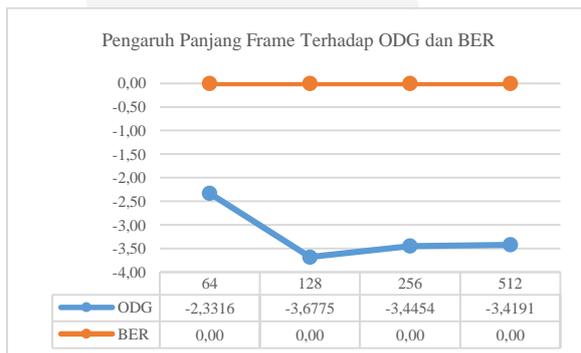


Gambar 4.4. Pengaruh Panjang Bit Terhadap SNR & Kapasitas

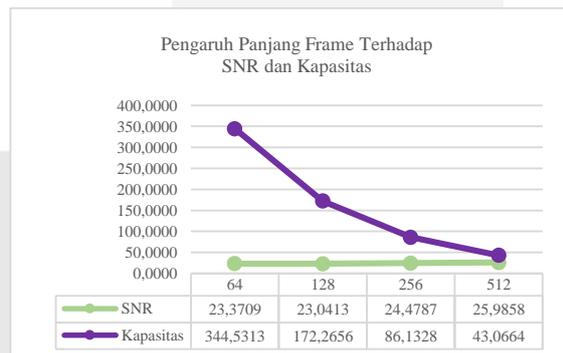
Dari hasil pengujian diatas, dapat diketahui bahwa bit kuantisasi mempengaruhi nilai BER, ODG, dan SNR. Semakin besar nilai bit kuantisasi maka nilai BER, ODG dan SNR cenderung mengalami kenaikan pula, sedangkan nilai Kapasitas yang dihasilkan cenderung stabil pada setiap kenaikan nilai bit kuantisasi.

C. Pengaruh Panjang Frame

Berikut merupakan hasil pengaruh Panjang Frame terhadap audio watermarking sebelum dilakukan optimasi pada Audio Drums.



Gambar 4.5. Pengaruh Panjang Frame Terhadap ODG & BER

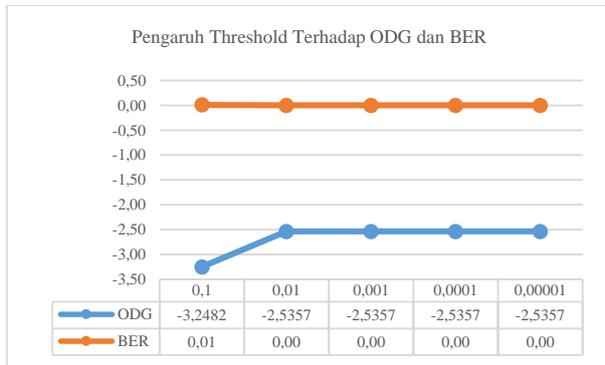


Gambar 4.6. Pengaruh Panjang Frame Terhadap SNR & Kapasitas

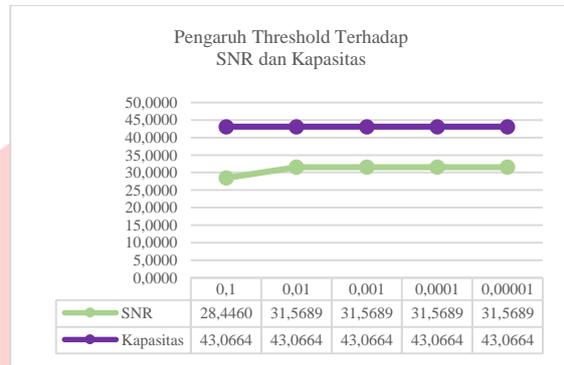
Dari hasil pengujian diatas, dapat diketahui bahwa panjang frame mempengaruhi nilai ODG, SNR dan Kapasitas. Semakin besar panjang frame maka nilai SNR cenderung mengalami kenaikan namun berbanding terbalik dengan nilai kapasitas yang semakin menurun. Nilai BER yang dihasilkan cenderung stabil pada setiap kenaikan panjang frame namun nilai ODG cenderung tidak stabil (fluktuatif).

D. Pengaruh Threshold

Berikut merupakan hasil pengaruh Threshold terhadap audio watermarking sebelum dilakukan optimasi pada Audio Drums.



Gambar 4.7. Pengaruh Threshold Terhadap ODG & BER

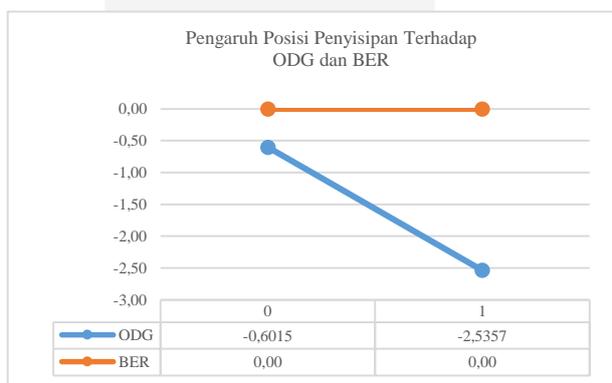


Gambar 4.8. Pengaruh Threshold Terhadap SNR & Kapasitas

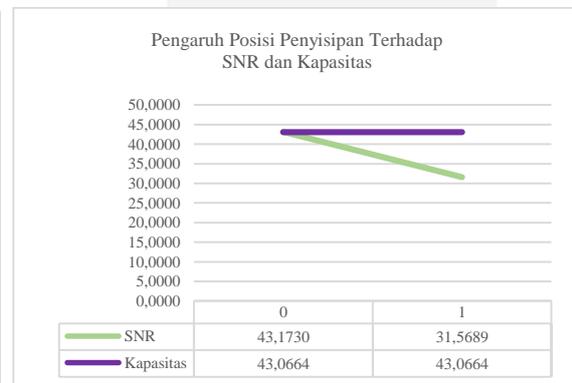
Dari hasil pengujian diatas, dapat diketahui bahwa threshold tidak begitu berpengaruh terhadap nilai BER, ODG, SNR dan Kapasitas, dibuktikan dengan nilai yang relatif stabil.

E. Pengaruh Posisi Penyisipan

Berikut merupakan hasil pengaruh posisi penyisipan terhadap audio watermarking sebelum dilakukan optimasi pada Audio Drums.



Gambar 4.9. Pengaruh Posisi Penyisipan Terhadap ODG & BER



Gambar 4.10. Pengaruh Posisi Penyisipan Terhadap SNR & Kapasitas

Dari hasil pengujian diatas, dapat diketahui bahwa panjang frame mempengaruhi nilai ODG dan SNR. Nilai ODG dan SNR pada Posisi Penyisipan setiap matriks R mengalami penurunan. Sedangkan nilai BER dan Kapasitas yang dihasilkan memiliki nilai yang stabil.

4.2 Pengujian Ketahanan Audio Watermarking

Pengujian ketahanan audio watermarking dilakukan dengan cara memberikan serangan kepada setiap jenis audio yang digunakan. Serangan yang diberikan berupa serangan LPF, Noise Addition, Resampling, Pitch Shifting, dan Compression (MP3 & MP4). Berikut hasil serangan terhadap nilai BER disajikan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Hasil serangan terhadap nilai BER

Attack	Attack Specification	BER				
		Gitar	Piano	Bass	Vocal	Drums
LPF	3kHz	0.2700	0.2500	0.1500	0.4400	0.4200
	6kHz	0.1800	0.1600	0.1000	0.4200	0.4000
	9kHz	0.1100	0.1500	0.1400	0.3700	0.3300
Noise	0 dB	0.4300	0.4100	0.3900	0.4900	0.3900
	10 dB	0.4100	0.4600	0.5000	0.4800	0.4900
	20 dB	0.2900	0.2700	0.3700	0.2200	0.4200
Resampling	22050 Hz	0.4100	0.3600	0.2800	0.4500	0.3800
	11025 Hz	0.2700	0.2900	0.2200	0.4000	0.3700
	16000 Hz	0.1100	0.2400	0.1400	0.3600	0.3300
	24000 Hz	0.1800	0.2300	0.0900	0.3200	0.3100
Pitch Shifting	1%	0.5000	0.5700	0.4300	0.4400	0.4900
	2%	0.5300	0.4300	0.4300	0.5000	0.4000
	3%	0.5000	0.4800	0.4400	0.4800	0.4800
	4%	0.4500	0.4300	0.5300	0.4000	0.4600
Kompresi MP3	32k	0.3000	0.4100	0.3400	0.4400	0.4300
	64k	0.2500	0.2600	0.2300	0.2400	0.3300
	128k	0.0600	0.0600	0.0800	0.0400	0.0700
	192k	0.0700	0.0500	0.0400	0.0300	0.0500
	256k	0.0500	0.0400	0.0500	0.0500	0.0500
Kompresi MP4	32k	0.2100	0.2300	0.1900	0.2600	0.2900
	64k	0.2100	0.2300	0.1900	0.2600	0.2900
	128k	0.2100	0.2300	0.1900	0.2600	0.2900
	192k	0.2100	0.2300	0.1900	0.2600	0.2900
	256k	0.2100	0.2300	0.1900	0.2600	0.2900

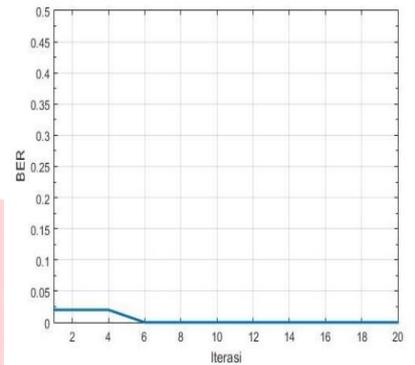
Dari hasil diatas, dipilih 6 (enam) nilai BER pada masing-masing serangan yang cenderung memiliki nilai yang tinggi untuk kemudian di optimasi menggunakan *Particle Swarm Optimization*.

4.3 Optimasi Parameter Sistem

Optimasi Particle Swarm Optimization dilakukan pada Audio Drums dengan serangan *Compression* MP4, dimana parameter optimal yang dihasilkan disajikan pada Tabel 4.2 dan Grafik nilai *fitness function* sebanyak 20 iterasi dan jumlah populasi sebanyak 20 disajikan pada Gambar 4.11.

Tabel 4.2. Parameter optimal terhadap serangan *compression* MP4 32 k

N	Thr	Nframe	N Bit	Posisi W
4	0.0068	512	4	Setiap matriks R



Gambar 4.11. Grafik nilai *fitness function* optimasi serangan *compression* MP4 32 k

Parameter optimal terhadap serangan *Compression* MP4 diatas menghasilkan nilai output berupa BER yang berbeda dengan sebelum dilakukannya optimasi. Hasil optimasi terhadap serangan *Compression* MP4 disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil optimasi terhadap serangan *compression* MP4 32 k

	BER	Persentase Optimasi (%)
Sebelum Optimasi	0.29	100
Setelah Optimasi	0.00	

Berdasarkan data diatas, nilai BER setelah dilakukan optimasi mengalami penurunan nilai dari nilai BER sebelum optimasi. Optimasi terhadap serangan *Compression* MP4 meningkatkan ketahanan dari audio watermark dibuktikan dengan nilai BER yang lebih baik dari sebelum dilakukan optimasi.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu bahwa perubahan pada besaran parameter *input* berupa level DWT, panjang *Frame*, bit kuantisasi, threshold dan posisi penyisipan mempengaruhi nilai dari setiap *output* yang dihasilkan berupa nilai ODG, SNR, BER, dan Kapasitas. Nilai ODG dan SNR akan semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya level DWT dan bit kuantisasi serta posisi penyisipan yang berada pada matriks R (1,1). Nilai BER dan kapasitas akan semakin mendekati nilai sempurna yaitu nol, seiring dengan semakin besarnya bit kuantisasi.

Jenis serangan yang diberikan kepada masing-masing parameter optimal yaitu LPF, *Noise Addition*, Resampling, *Pitch Shifting* dan *Compression*, dimana hasil serangan tersebut di optimasi dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan menghasilkan nilai BER yang lebih baik dari sebelum dioptimasi. Hasil BER sebelum optimasi memiliki rentang nilai antara 0,29 hingga 0,58, sementara nilai BER setelah optimasi memiliki rentang nilai antara 0 hingga 0,32 dengan rata-rata perbaikan nilai BER yaitu sebesar 67,64%.

Parameter optimal setelah optimasi *Particle Swarm Optimization* yang paling tahan terhadap serangan yaitu pada audio Drums (serangan *Compression* MP4 32k) yang menghasilkan nilai BER sempurna yaitu nol.

B. Saran

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

1. Penelitian berikutnya dapat mencoba membandingkan metode ini dengan metode lainnya sehingga dapat diketahui metode yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan nilai BER, ODG, SNR dan Kapasitas yang lebih baik sehingga kualitas dan ketahanan audio *watermark* yang dihasilkan menjadi lebih baik pula.
2. Penelitian berikutnya dapat mencoba juga menggunakan metode optimasi yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. H. Supangkat, "Watermarking sebagai Teknik Penyembunyian Label Hak Cipta pada Data Digital," in *Teknik Elektro.*, vol. 6, no. 3, pp. 19–27, 2000.
- [2] S. Pratap and S. Chauhan, "A survey : Digital Audio *Watermarking* Techniques and Applications," in *2013 4th Int. Conf. Comput. Commun. Technol.*, pp. 185–192, 2013.
- [3] A. Kaur, M. K. Dutta, K. M. Soni, and N. Taneja, "A High Payload Audio *Watermarking* Algorithm Robust against MP3 Compression," in *Institute of Electrical and Electronics Engineer.*, no. 1, pp. 1–5, 2014.
- [4] J. Li, "Robust Audio *Watermarking* Scheme via QIM of Correlation Coefficients using LWT and QR decomposition," in *International Conference on Informative and Cybernetics for Computational Social System.*, no. 4, pp. 1–6, 2015.
- [5] N. Khademi, M. A. Akhaee, S. M. Ahadi, M. Moradi, and A. Kashi, "Audio *watermarking* based on Quantization Index Modulation in the frequency domain," *ICSPC 2007 Proc. - 2007 IEEE Int. Conf. Signal Process. Commun.*, no. November, pp. 1127–1130, 2007.
- [6] B. Lei, I. Soon, Z. Li, and P. Dai, "A particle swarm optimization based audio *watermarking* scheme," in *ICICS - 8th Int. Conf. Information, Commun. Signal Process.*, vol. 1, no. 1, pp. 2–5, 2011.
- [7] M. Li, W. Du, and F. Nian, "An Adaptive Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Directed Weighted Complex Network," in *Mathematical Problems in Engineering.*, vol. 2014, pp. 612–616, 2014.
- [8] V. Bhat, K. I. Sengupta, and A. Das, "An audio *watermarking* scheme using singular value decomposition and dither-modulation quantization," in *Multimed Tools Appl.*, 2010.
- [9] T. T. Oo and T. Onoye, "Progressive Audio Scrambling Via Wavelet Transform," in *Institute of Electrical and Electronics Engineer.*, pp. 97–100, 2014.
- [10] M. Ketcham and S. Vongpradhip, "Intelligent Audio *Watermarking* using Genetic Algorithm in DWT Domain," in *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering.*, vol. 1, no. 2, pp. 377–382, 2007.