



Performansi Audio Terwatermark dengan Metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Histogram Audio Watermarking* Terhadap Parameter SNR dan ODG

Vera Noviana Sulistyawan¹, Gelar Budiman², Edi Sarwono³, Dhidik Prastyianto⁴

^{1,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

² Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Agustus 2019

Disetujui Oktober 2019

Dipublikasikan Desember 2019

Abstrak

Perkembangan teknologi membuat informasi dapat dengan mudah di akses oleh publik. Diperlukan perlindungan hak cipta untuk melindungi kepemilikan data secara resmi. Watermarking merupakan suatu teknik penyembunyian atau penanaman informasi tertentu baik berupa teks maupun gambar kedalam sebuah media digital seperti gambar dan audio. Informasi yang disembunyikan tidak diketahui kehadirannya oleh indra manusia. Keharusan untuk tidak ada kerusakan pada media yang ditumpangi informasi menjadi keharusan dalam proses ini. Dalam penelitian ini, *Discrete Wavelet Transform* dikombinasikan dengan *Histogram Audio Watermarking* untuk melakukan proses penyisipan informasi ke dalam sebuah audio. Simulasi ini menghasilkan nilai SNR rata-rata adalah 40.7310 dB dan ODG rata-rata sebesar -0.4594. Jumlah watermark rata-rata yang dapat disisipkan (capacity) sebesar 192 bit/detik. Sehingga dengan design penyisipan menggunakan *Discrete Wavelet Transform* dan *Histogram Audio Watermarking*, audio terwatermark mempunyai kualitas audio yang tinggi. Hasil dari proses audio watermarking tidak terlihat adanya kerusakan audio oleh watermark yang disisipkan.

Abstract

The development of technology makes information easily accessible to the public. Copyright protection is required to protect ownership of official data. Watermarking is a technique for hiding or planting certain information in the form of text or images into a digital media such as pictures and audio. The hidden information is unknown presence by the human senses. The need for no damage to the media carrying information is a necessity in this process. In this study, Discrete Wavelet Transform is combined with Histogram Audio Watermarking to carry out the process of inserting information into an audio. This simulation produces an average SNR value of 40.7310 dB and an average ODF of -0.4594. The average number of watermarks that can be stored (capacity) is 192 bits/s. So with the insertion design using Discrete Wavelet Transform and Histogram Audio Watermarking, audio watermarked has high audio quality. The results of the audio watermarking process did not show any audio damage by the inserted watermark.

Alamat korespondensi:

Gedung E11 Lantai 2 FT Unnes

Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229

E-mail: edu.elektrika@mail.unnes.ac.id

© 2019 Universitas Negeri Semarang

ISSN 2252-7095

A. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi terjadi begitu cepat. Di era sekarang ini, semua informasi dapat tersebar begitu cepat melalui berbagai media digital. Salah satunya adalah audio. Audio adalah salah satu media pembawa informasi dalam bentuk suara. Bebasnya akses data melalui jaringan internet mengakibatkan penyebarluasan file dan distribusi file yang tidak terkendali oleh pemilik informasi. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu teknologi untuk melindungi suatu hak cipta seseorang agar tidak ada kasus perebutan hak milik suatu informasi dalam bentuk audio. Proteksi data yang ada pada saat ini menggunakan proses enkripsi data yang tidak dapat diaplikasikan di sebuah file audio yang harus diputar kembali dengan file yang sama tanpa ada perubahan informasi yang terdengar oleh indra manusia (Xiang & Huang, 2007). Solusi yang sangat berpotensi dalam mendai sinyal audio digital tetapi tidak diketahui kehadirannya oleh indra manusia, yaitu watermarking. Watermarking ini harus mampu menghadapi perusakan atau serangan dari berbagai hal sampai tahap tertentu.

Informasi dalam bentuk audio tersedia dalam beberapa format sinyal audio, yaitu WAV (Waveform), AAC (Advanced Audio Coding), WMA (Windows Media Audio), MP3 (Moving Pictures Experts Group, Audio Layer 3), PCM (Pulse Code Modulation), FLAC (Free Lossless Audio Codec), Ogg Vorbis, Real Audio, MIDI. Dalam penelitian ini menggunakan WAV. WAV merupakan standar suara dari de-facto di Windows yang kemudian dikembangkan oleh Microsoft dan IBM (Tamatjita & Harjoko, 2014). Ukuran file dalam audio dengan format WAV relatif lebih besar dari pada yang lainnya sehingga memungkinkan untuk penyisipan informasi dalam sinyal audio dengan kapasitas yang besar.

Terdapat beberapa metoda yang sudah dikembangkan dalam proses watermarking. Metoda tersebut dapat digolongkan kedalam dua tipe, yaitu metoda dalam domain waktu dan metoda dalam domain frekuensi (Acevedo, 2003) (Arnold, 2000) (Al-Haj, Mohammad, & Bata, 2011). Kedua domain tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda yang disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan watermarking tersebut.

Pada penelitian sebelumnya, (Xiang & Huang, 2007) melakukan penelitian dengan metoda Histogram. Penelitian ini menyebutkan bahwa pesan yang disembunyikan dalam audio sangat tahan terhadap serangan *time scale modification* dan serangan *random cropping*, dan juga memiliki ketahanan yang sangat memuaskan untuk operasi pemrosesan sinyal audio pada umumnya (Xiang & Huang, 2007). Metoda ini (Xiang & Huang, 2007) dikembangkan dalam penelitian selanjutnya dengan menambahkan metoda *discrete wavelet transform* dan

metoda optimasi dengan menggunakan algoritma genetika pada (Sulistyawan, Karina, & Budiman, Audio Watermarking dengan Discrete Wavelet Transform dan Histogram Menggunakan Optimasi Algoritma Genetika, 2017). Namun, penelitian (Sulistyawan, Karina, & Budiman, Audio Watermarking dengan Discrete Wavelet Transform dan Histogram Menggunakan Optimasi Algoritma Genetika, 2017) berfokus pada pembahasan nilai *Bit Error Rate* (BER) yang mencapai kurang dari 7%.

Menurut International Federation of the Phonographic Industry (IFPI) (Katzenbeisser & Petitcolas, 2000), STEP2001, dan Secure Digital Music Initiative (SDMI) menyebutkan bahwa watermarking yang dihasilkan harus tidak diketahui oleh publik dengan nilai SNR harus lebih tinggi dari 20 dB. Selain itu, audio terwatermark harus tahan terhadap beberapa operasi pengolahan sinyal seperti low pass filtering, kompresi, *resampling*, *time scale modification*, *cropping*, dll.

Algoritma *Discrete Wavelet Transform* dan *Chirp Signal* yang digunakan pada penelitian (Zeng, 2012) terbukti mampu mencapai nilai SNR hingga 27.4306 dB. Audio watermarking yang dihasilkan mempunyai *perceptibility* yang bagus dan ketahanan yang baik dari berbagai serangan seperti kompresi MPEG. Selain itu, algoritma ini mumpuni kompleksitas yang rendah sehingga mempunyai prospek yang baik untuk diaplikasikan.

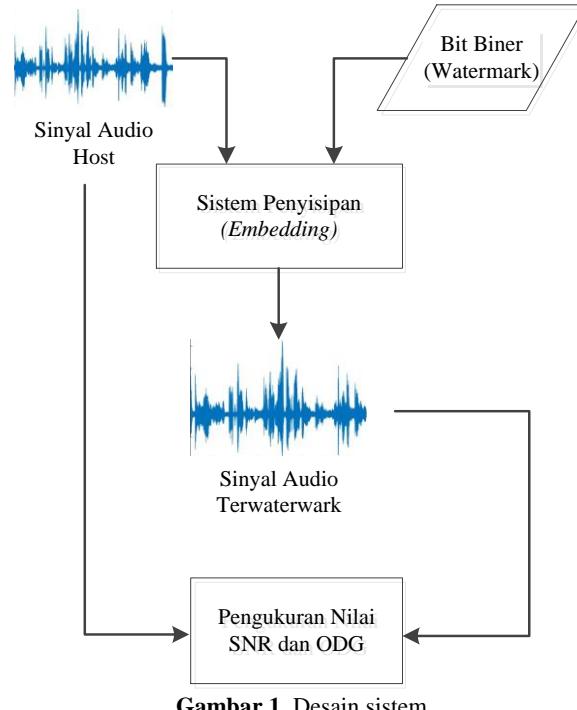
Gabungan antara *Histogram-Based Audio Watermarking* dengan *Stationary Wavelet Transform* dicoba dalam penelitian (Sulistyawan, Budiman, & Safitri, Histogram-Based Audio Watermarking with Synchronization In Stationary Audio Subband, 2018) mendapatkan nilai SNR hingga 40.00 dB dan ODG sebesar -0.6 dengan optimasi menggunakan Algoritma Genetika. Sedangkan tanpa optimasi mendapatkan nilai SNR sebesar 37.76 dB dan ODG sebesar -1.43.

Dalam penelitian ini audio watermarking menggunakan metoda *Discrete Wavelet Transform* dan *Histogram based Watermarking* dalam file audio (.wav). Kami berfokus pada nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan nilai *Objective Different Grade* (ODG) terhadap audio yang terwatermark.

B. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menyisipkan sebuah informasi berupa bit kedalam audio dengan memenuhi persyaratan watermarking yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, audio yang terwatermark bersifat *imperceptible*. Informasi yang disisipkan kedalam host audio (watermark) tidak terlihat oleh publik. Penelitian ini menggunakan metoda *Discrete Wavelet Transform* dan *Histogram Audio Watermarking*. Dalam pengujinya, audio

terwatermark diuji menggunakan parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Objective Different Grade* (ODG). Proses lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Dalam audio watermarking, sinyal audio yang menjadi tempat penyisipan watermark disebut dengan *host* atau *cover* atau *carrier*. *Multi bit watermark* berfungsi sebagai informasi yang akan disembunyikan kedalam audio host. Panjang dari watermark bisa bervasiasi disesuaikan dengan kebutuhan.

Penelitian ini hanya berfokus pada proses penyisipan (*embedding*). Proses ini dimulai dari penyisipan informasi yang disebut dengan watermark kedalam sinyal host. Dalam tahapan ini *host audio* mengalami proses *framing*. *Framing* merupakan proses pemecahan sinyal audio menjadi beberapa frame. Tujuannya adalah untuk memudahkan dalam proses penyisipan watermark.

Discrete Wavelet Transform (DWT) merupakan salah satu teknik untuk menganalisa sinyal. Teknik ini dikembangkan sebagai alternatif dari *Short Time Fourier Transform* (STFT) untuk menyelesaikan masalah properti sinyal dalam domain frekuensi dan waktu. Melalui transformasi wavelet, sinyal didekomposisi kedalam komponen frekuensi rendah dan komponen frekuensi tinggi.

Sinyal audio host yang sudah mengalami proses *framing* kemudian mengalami dekomposisi *Discrete Wavelet Transform* level satu. Dalam dekomposisi ini, sinyal audio host dibagi kedalam dua komponen yaitu, komponen frekuensi rendah dan komponen frekuensi

tinggi. Dalam proses penyisipan di penelitian ini hanya menggunakan sinyal frekuensi tinggi.

Kemudian sinyal frekuensi tinggi tersebut masuk kedalam penyeleksian range penyisipan oleh algoritma Histogram hingga menghasilkan $B = [-\lambda\bar{A}, \lambda\bar{A}]$ untuk merenggangkan histogram $H = \{h(i)|i = 1, \dots, L\}$ (Xiang & Huang, 2007). Dimana \bar{A} merupakan rata-rata modifikasi amplitudo yang didapatkan dari persamaan berikut (Xiang & Huang, 2007) :

$$\bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f(i)| \quad (1)$$

Diasumsikan bahwa watermark $W = \{w_i|i = 1, \dots, L_w\}$ akan disembunyikan ke dalam audio host $F = \{f(i)|i = 1, \dots, N\}$ (Xiang & Huang, 2007). Watermark disini dalam bentuk biner angka “0” dan “1”. Agar semua bit watermark dapat disisipkan, $L \geq 3L_w$ (Xiang & Huang, 2007). λ merupakan nilai positif yang terpilih agar dapat memenuhi $h(i) \gg L, \lambda \in [2.0, 2.5]$ (Xiang & Huang, 2007).

Setelah melalui proses penyeleksian range dan perenggangan sinyal, proses selanjutnya adalah proses penyisipan *multi bit watermark*. Proses penyisipan terbagi kedalam dua kategori, yaitu penyisipan bit “0” dan penyisipan bit “1”.

Proses penyisipan menggunakan tiga bin yang berurutan. Bin tersebut dinotasikan dengan bin1, bin2, dan bin3 didalam masing-masing sampel a, b , dan c . Proses penyisipan bit “1” dan bit “0” menggunakan dua ketentuan berikut ini :

1. Jika penyisipan bit w_i adalah “1” dan $\frac{2b}{a+c} \geq T$, maka sudah cocok dengan aturan penyisipan dan tidak ada operasi yang dibutuhkan lagi. Bit “1” langsung bisa disisipkan kedalam sinyal. Tetapi jika tidak memenuhi persyaratan $\frac{2b}{a+c} \geq T$, maka nomor dari bin a, b , dan c akan ditugaskan kembali dengan modifikasi ketiga bin tersebut. Peraturan modifikasi sesuai dengan persamaan berikut (Xiang & Huang, 2007) :

$$f'_1(i) = f_1(i) + M, \text{ dimana } 1 \leq i \leq I_1 \quad (2)$$

$$f'_3(i) = f_3(i) + M, \text{ dimana } 1 \leq i \leq I_3 \quad (3)$$

Pemilihan sampel secara acak dari bin1 (I_1) dan bin3 (I_3) kemudian dimodifikasi untuk dapat masuk ke bin2 (I_2). Sedangkan I_1 dan I_3 dapat dihitung menggunakan persamaan (Xiang & Huang, 2007) :

$$I_1 = I \cdot \frac{a}{a+c} \quad (4)$$

$$I_3 = I \cdot \frac{c}{a+c} \quad (5)$$

Dimana $I = \frac{T(a+c)-2b}{2+T}$. Ketentuan dari bin termodifikasi tersebut adalah $a_1 = a - I_1$, $b_1 = b + I_1 + I_3$, dan $c_1 = c - I_3$.

2. Jika penyisipan bit w_i adalah "0" dan $\frac{a+c}{2b} \geq T$, maka sudah cocok untuk aturan penyisipan dan tidak ada operasi yang dibutuhkan lagi. Tetapi jika tidak memenuhi persyaratan $\frac{a+c}{2b} \geq T$, maka nomor dari bin a , b , dan c akan ditugaskan kembali dengan modifikasi ketiga bin tersebut. Pemilihan sampel bin2 kemudian dimodifikasi untuk jatuh kedalam bin1 dan bin3. Peraturan modifikasi sesuai dengan persamaan (Xiang & Huang, 2007) :

$$f'_2(i) = f_2(i) + M, \text{ dimana } 1 \leq i \leq I_1 \quad (6)$$

$$f'_2(i) = f_2(i) + M, \text{ dimana } 1 \leq i \leq I_3 \quad (7)$$

Versi modifikasi dari bin a , b , dan c adalah bin a_0 , b_0 , dan c_0 . Ketentuan dari bin termodifikasi tersebut adalah $a_0 = a + I_1$, $b_0 = b - I_1 - I_3$, dan $c_0 = c + I_3$.

Dari persamaan, T merupakan seleksi *threshold* untuk mengendalikan ketahanan watermark dan distorsi penyisipan. Dalam ketentuan yang ada dalam (Xiang & Huang, 2007), nilai T harus lebih besar dari 1.2.

Proses penyisipan itu terjadi secara terus menerus hingga bit watermark tersisipkan semua kedalam audio host. Setelah proses penyisipan selesai, sinyal audio yang sudah mengandung informasi watermark yang tidak dapat diketahui keberadaannya oleh indera manusia.

Pengujian terhadap audio yang sudah terwatermark ada beberapa cara. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Objective Different Grade* (ODG).

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat noise dari *audio watermarked* yang telah disisipi pesan. Nilai SNR dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Patil & Apte, 2008) (Guo-min, Yue-ting, Fei, & Yun-he, 2005):

$$SNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=0}^{N-1} f^2(n)}{\sum_{i=0}^{N-1} (g(n) - f(n))^2} \right) \quad (8)$$

Dimana N merupakan panjang audio, $f(n)$ merupakan sampel dari sinyal audio asli, $g(n)$ merupakan sampel dari sinyal audio yang terwatermark.

Objective Different Grade (ODG) merupakan parameter objective yang dihitung dengan evaluasi persepsi dari algoritma kualitas audio yang ditentukan

dalam ITU-R BS. 1387-1. ITU-R BS. 1387-1 merupakan standar *International Telecommunication Union-Radio-Communication Sector*). Nilai ODG merupakan salah satu keluaran atau hasil yang diperoleh dari teknik perhitungan *Perceptual Evaluation of Audio Quality* (PEAQ). Nilai ODG didapatkan dari membandingkan antara host audio dengan audio terwatermark (Xiang, Hua, & Yan, 2017). Besarnya nilai ODG berkisar dari 0 sampai -4 seperti yang tertuang pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Nilai skala ODG

Skala Nilai ODG	Deskripsi Kerusakan terhadap Audio Terwatermark	Kualitas Audio Terwatermark
0	Tidak terlihat	Baik sekali
-1	Terlihat, tapi tidak mengganggu	Baik
-2	Sedikit mengganggu	Cukup
-3	Mengganggu	Buruk
-4	Sangat mengganggu	Sangat buruk

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi yang tersimpan pada file audio host adalah *multi bit watermark* yang jumlahnya disesuaikan dengan audio host. File yang digunakan sebagai host audio adalah audio mono dengan format (.wav). Audio tersebut mempunyai frekuensi sampling 44100 Hz dan durasi sepanjang 10 detik. Eksperimen dilakukan menggunakan notebook dengan RAM 8 GB, prosesor Intel(R) Core(TM) i7.

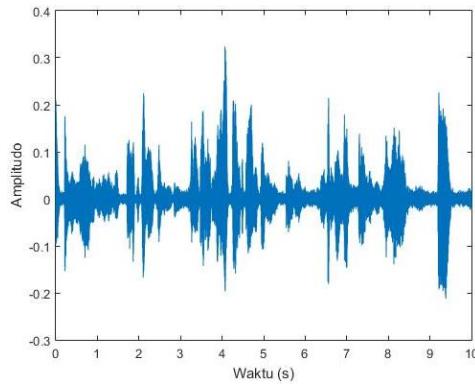
Dalam penelitian ini, audio yang sudah terwatermark diuji kualitasnya menggunakan nilai SNR untuk mengetahui perubahan persepsi kualitas obyektif yang disebabkan oleh operasi penyisipan (*embedding*).

Signal to Noise Ratio (SNR) digunakan untuk mengukur kualitas persepsi dari sinyal yang sudah terwatermark (Zeng, 2012). Dalam penelitian ini menggunakan nilai frame sebanyak 215 sesuai yang telah dilakukan oleh (Zeng, 2012).

Pengukuran nilai SNR yang dilakukan oleh (Zeng, 2012) menggunakan metoda *Discrete Wavelet Transform* dan *Chirp Signal* menghasilkan nilai SNR dari range 24.7336 dB hingga 27.4306 dB. Hasil pada penelitian (Zeng, 2012) sudah cukup bagus karena jika dilihat dari standarnya, nilai SNR lebih dari 20 sudah memenuhi standar untuk kualitas audio watermarking yang baik.

Dalam penelitian ini, sistem penyisipan dicoba untuk beberapa jenis audio. Gambaran dari sinyal audio host ditampilkan pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Hasil dari pengujian audio

terhadap nilai SNR dan ODG terdapat dalam Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

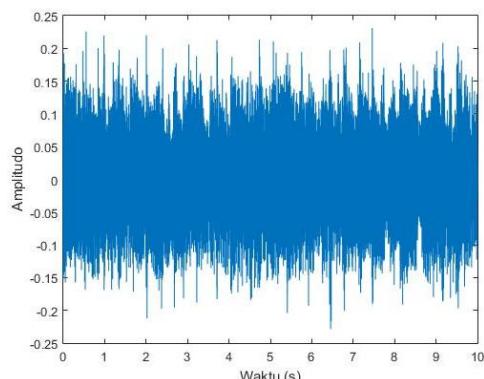


Gambar 2. Sinyal host jenis percakapan

Tabel 2. Pengaruh jumlah bit watermark yang disisipkan ke host audio (audio percakapan) terhadap nilai SNR dan ODG

No	Jumlah bit watermark yang disisipkan	SNR (dB)	ODG
1	1000	40.3974	-0.5217
2	1100	40.3567	-0.5267
3	1200	40.5915	-0.4894
4	1300	40.3541	-0.4796
5	1400	40.6355	-0.5000
6	1500	40.8968	-0.5059
7	1600	40.6621	-0.5061
8	1700	39.9548	-0.4887
9	1800	39.6771	-0.4730

Tabel 2 merupakan hasil dari pengujian yang dilakukan terhadap audio jenis percakapan. Gambar 2 merupakan sinyal audio host percakapan antara dua orang dengan durasi 10 detik. Hasil dari penyisipan dari 1000 bit hingga 1800 bit watermark ke dalam sinyal audio diuji menggunakan parameter SNR dan ODG. Hasil yang diperoleh pada percobaan pertama ini didapat nilai SNR rentang 39.6771 dB sampai 40.8968 dB. Sedangkan nilai ODG berkisar dari -0.5267 sampai -0.4730. Rata-rata perolehan nilai SNR yaitu 40.3917 dB dan ODG yaitu -0.4990. Tentunya nilai ini sangat baik untuk kualitas audio terwatermark.

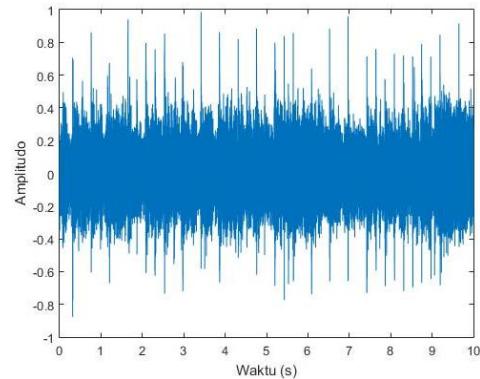


Gambar 3. Sinyal host jenis musik hiphop dengan suara vokal

Tabel 3. Pengaruh jumlah bit watermark yang disisipkan ke host audio (audio musik hiphop) terhadap nilai SNR dan ODG

No	Jumlah bit watermark yang disisipkan	SNR (dB)	ODG
1	1000	44.6504	-0.2765
2	1100	44.5987	-0.2748
3	1200	44.5368	-0.2724
4	1300	44.7467	-0.2723
5	1400	44.8450	-0.2715
6	1500	44.7971	-0.2821
7	1600	44.4715	-0.2740
8	1700	44.3377	-0.2703
9	1800	44.2325	-0.2681

Tabel 3 merupakan hasil dari pengujian terhadap audio dengan jenis musik hip hop yang dilengkapi suara vokal. Gambar 3 merupakan sinyal host dari musik hip hop yang dilengkapi suara vokal dengan durasi sepanjang 10 detik. Hasil dari penyisipan dari 1000 bit hingga 1800 bit watermark ke dalam sinyal audio diuji menggunakan parameter SNR dan ODG. Hasil yang diperoleh pada percobaan kedua ini didapat nilai SNR rentang 44.2325 dB sampai 44.8450 dB. Sedangkan nilai ODG berkisar dari -0.2821 sampai -0.2681. Rata-rata perolehan nilai SNR yaitu 44.5796 dB dan ODG yaitu -0.2735. Hasil dari percobaan kedua lebih baik dari pada percobaan kesatu.



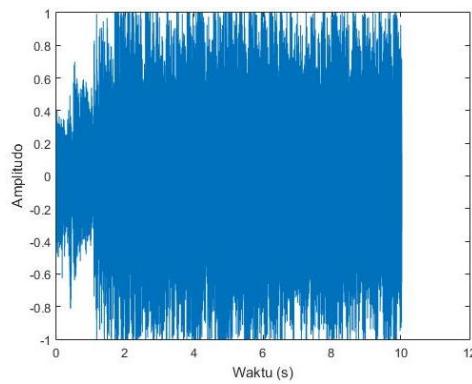
Gambar 4. Sinyal host jenis musik rock dengan suara vokal

Tabel 4. Pengaruh jumlah bit watermark yang disisipkan ke host audio (audio musik rock) terhadap nilai SNR dan ODG

No	Jumlah bit watermark yang disisipkan	SNR (dB)	ODG
1	1000	38.1286	-0.1816
2	1100	38.1900	-0.1773
3	1200	38.2671	-0.1783
4	1300	38.4471	-0.1460
5	1400	38.3288	-0.1629
6	1500	38.4105	-0.1185
7	1600	38.3081	-0.1760
8	1700	38.5803	-0.1949
9	1800	38.6269	-0.2206
10	1900	38.6813	-0.1687

11	2000	38.7306	-0.1676
----	------	---------	---------

Tabel 4 merupakan hasil dari pengujian terhadap audio dengan jenis musik rock yang dilengkapi suara vokal. Gambar 4 merupakan sinyal host jenis musik rock yang dilengkapi dengan suara vokal dengan durasi sepanjang 10 detik. Hasil dari penyisipan dari 1000 bit hingga 2000 bit watermark ke dalam sinyal audio diuji menggunakan parameter SNR dan ODG. Hasil yang diperoleh pada percobaan kedua ini didapat nilai SNR rentang 38.1286 dB sampai 38.7306 dB. Sedangkan nilai ODG berkisar dari -0.2206 sampai -0.1185. Rata-rata perolehan nilai SNR yaitu 38.4272 dB dan ODG yaitu -0.1720.

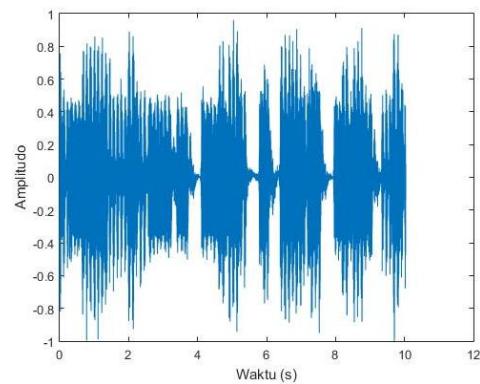


Gambar 5. Sinyal host jenis musik klasik

Tabel 5. Pengaruh jumlah bit watermark yang disisipkan ke host audio (audio musik klasik) terhadap nilai SNR dan ODG

No	Jumlah bit watermark yang disisipkan	SNR (dB)	ODG
1	1000	42.1658	-0.8316
2	1100	42.2834	-0.7811
3	1200	42.2553	-0.7286
4	1300	42.3421	-0.7464
5	1400	42.4619	-0.6924
6	1500	42.2371	-0.6688
7	1600	42.3237	-0.6769
8	1700	42.4022	-0.6344
9	1800	42.4270	-0.6388
10	1900	42.4317	-0.6115
11	2000	42.5475	-0.6222

Tabel 5 merupakan hasil dari pengujian terhadap audio dengan jenis musik klasik yang dilengkapi suara vokal. Gambar 5 merupakan sinyal host dengan musik klasik dengan durasi 10 detik. Hasil dari penyisipan dari 1000 bit hingga 2000 bit watermark ke dalam sinyal audio diuji menggunakan parameter SNR dan ODG. Hasil yang diperoleh pada percobaan kedua ini didapat nilai SNR rentang 42.1658 dB sampai 42.5475 dB. Sedangkan nilai ODG berkisar dari -0.8316 sampai -0.6115. Rata-rata perolehan nilai SNR yaitu 42.3525 dB dan ODG yaitu -0.6938.



Gambar 6. Sinyal host jenis suara tembakan perang

Tabel 6. Pengaruh jumlah bit watermark yang disisipkan ke host audio (audio suara tembakan perang) terhadap nilai SNR dan ODG

No	Jumlah bit watermark yang disisipkan	SNR (dB)	ODG
1	1000	37.8635	-0.6668
2	1100	37.6740	-0.6800
3	1200	37.6760	-0.6584
4	1300	37.8058	-0.6660
5	1400	37.9170	-0.6461
6	1500	37.8995	-0.6545
7	1600	38.1065	-0.6586
8	1700	38.0587	-0.6515
9	1800	37.9003	-0.6598
10	1900	38.0394	-0.6538
11	2000	38.0081	-0.6555

Tabel 6 merupakan hasil dari pengujian terhadap audio dengan suara tembakan. Gambar 6 merupakan sinyal host dengan suara tembakan. Hasil dari penyisipan dari 1000 bit hingga 2000 bit watermark ke dalam sinyal audio diuji menggunakan parameter SNR dan ODG. Hasil yang diperoleh pada percobaan kedua ini didapat nilai SNR rentang 37.6740 dB sampai 38.1065 dB. Sedangkan nilai ODG berkisar dari -0.6800 sampai -0.6461. Rata-rata perolehan nilai SNR yaitu 37.9044 dB dan ODG yaitu -0.6591.

Tabel 7. Tabel nilai rata-rata

No	Jenis Audio	Jumlah rata-rata bit watermark yang disisipkan	Rata-rata SNR (dB)	Rata-rata ODG
1	Percakapan	1400	40.3917	-0.4990
2	Hip-hop	1400	44.5796	-0.2735
3	Rock	1500	38.4272	-0.1720
4	Klasik	1500	42.3525	-0.6938
5	Perang	1500	37.9044	-0.6591
Rata-rata		1460	40.7310	-0.4594

Hasil nilai rata-rata dari Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 tercantum pada Tabel 7. Hasil nilai SNR rata-rata yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 40.7310 dB. Tentunya nilai sudah melampaui standar yang diberikan oleh International Federation of the Phonographic Industry (IFPI) (Katzenbeisser & Petitcolas, 2000). Sedangkan, rata-rata nilai ODG yang didapat dari penelitian ini adalah -0.4594. Dari sini dapat disimpulkan bahwa, tidak terlihat adanya kerusakan pada audio yang telah disisipi informasi dengan kualitas audio terwatermark sangat baik.

D. SIMPULAN

Metode *Discrete Wavelet Transform* dan *Histogram based Watermarking* yang digunakan dalam penelitian menghasilkan nilai rata-rata SNR sebesar 40.7310 dB dan ODG sebesar -0.4594. Sedangkan bit yang disisipkan mencapai 2000 bit informasi dalam audio host 10 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa audio yang dihasilkan tidak terlihat adanya kerusakan, dengan kualitas audio yang sangat baik. Bahkan audio watermarking dengan metode ini mempunyai kapasitas yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Acevedo. (2003). Digital Watermarking for Audio Data in Techniques and Applications of Digital Watermarking and Content Protection. *Artech House, USA*.

Al-Haj, A., Mohammad, A., & Bata, L. (2011). DWT - Based Audio Watermarking. *The International Arab Journal of Information Technology*, 326-333.

Arnold, M. (2000). Audio Watermarking : Features, Applications, and Algorithms. *2000 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. ICME2000. Proceedings. Latest Advances in the Fast Changing World of Multimedia* (Cat. No.00TH8532), 1013-1016.

Guo-min, W., Yue-ting, Z., Fei, W., & Yun-he, P. (2005). Adaptive Audio Watermarking based on SNR in Localized Regions. *Journal of Zhejiang University SCIENCE*, 53-57.

Katzenbeisser, S., & Petitcolas, F. A. (2000). Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking. *Artech House, Inc.685 Canton St. Norwood, MA United States*, 240.

Patil, M. R., & Apte, S. (2008). SNR Based Audio Watermarking Scheme for Blind Detection. *2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology* (hal. 1278-1283). Nagpur, Maharashtra, India: IEEE.

Sulistyawan, V. N., Budiman, G., & Safitri, I. (2018). Histogram-Based Audio Watermarking with Synchronization In Stationary Audio Subband. *2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)* (hal. 195-201). Bandung, Indonesia: IEEE.

Sulistyawan, V. N., Karina, Y., & Budiman, G. (2017). Audio Watermarking dengan Discrete Wavelet Transform dan Histogram Menggunakan Optimasi Algoritma Genetika. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, B64. 1-7.

Tamatjita, N., & Harjoko, A. (2014). Klasifikasi Lagu Berdasarkan Genre pada Format WAV. *IJCCS*, 145-154.

Xiang, S., & Huang, J. (2007). Histogram-Based Audio Watermarking Against Time-Scale Modification and Cropping Attacks. *IEEE Transactions on Multimedia* (Volume: 9 , Issue: 7), 1357-1372.

Xiang, Y., Hua, G., & Yan, B. (2017). *Digital Audio Watermarking Fundamentals, Techniques and Challenges*. Springer.

Zeng, W. (2012). A Novel Audio Watermarking Algorithm Based on Chirp Signal and Discrete Wavelet Transform. *2012 8th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing* (hal. 1-4). Shanghai, China: IEEE.