

Pengaruh Serangan LPF pada Audio Watermarking dengan Metode DWT-Histogram Terhadap Performa BER

Effect of LPF Attack on Audio Watermarking Using DWT-Histogram Method on BER Performance

Vera Noviana Sulistyawan¹, Tatyantoro Andrasto², Khoirudin Fathoni³, Hendra Dewinta Setiyani⁴, Nur Rokhimatul Azizah⁵, Fahrizal Adnan⁶, Yogi Prasetyo⁷
^{1,2,3,4,5,6,7}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
E-mail: ¹veranovianas@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi yang pesat membuat kemudahan untuk mengakses data oleh umum sehingga dibutuhkan suatu perlindungan hak cipta guna melindungi hak perihal pemilikan data secara legal. Audio watermarking yang diusulkan menanamkan informasi bit biner ke dalam sebuah media digital berupa audio yang tidak menyebabkan kerusakan pada media yang disisipi informasi. Penelitian ini menggunakan kombinasi metode DWT dan Histogram. Hasil yang diperoleh berupa audio terwatermark yang mempunyai kualitas tinggi dan tidak menimbulkan dampak berarti terhadap sinyal informasi yang telah disisipkan dengan menggunakan parameter Bit Error Ratio (BER). Pada penelitian ini, rata-rata BER yang didapat saat dilakukan serangan LPF adalah 0.07952. Sehingga metode ini mempunyai ketahanan yang tinggi. Sedangkan tanpa serangan watermark dapat terekstrak sempurna tanpa kerusakan dengan BER=0.

Kata kunci: DWT, Audio watermarking, LPF, Histogram, BER

Abstract

Rapidly developing technology makes data easily accessible to the public so that copyright protection is needed to protect official data ownership. The proposed audio watermarking embeds binary bit information into a digital media in the form of audio. The absence of damage to the media that is inserted information is a must in this process. In this research, Discrete Wavelet Transform (DWT) is combined with Histogram Audio Watermarking to perform the process of inserting and extracting information into an audio. In this research, the embedding process uses DWT and Histogram Audio Watermarking. The results obtained by the watermarked audio have high audio quality and do not cause a significant impact on the information signal that has been inserted. Testing is done by looking at the value of the Bit Error Rate (BER). In this study, the average BER obtained during the LPF attack was 0.07952. So this method has high robustness. Meanwhile, without watermark attacks, it can be extracted perfectly without damage, BER = 0.

Keywords: DWT, Audio watermarking, LPF, Histogram, BER

1. PENDAHULUAN

Dengan adanya internet serta kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi memberi kemudahan manusia untuk bertukar informasi. Di masa sekarang ini hampir semua orang tidak lepas dari internet, bebasnya akses data yang bisa menimbulkan penyebaran secara tidak legal serta penyaluran suatu file bisa menjadi tidak terkontrol. Pemilik asli file itu pun kadang tidak mengetahui jika filenya disebarluaskan secara ilegal. Masalah lain yang timbul adalah pemilik file sah juga sulit untuk membuktikan bahwa itu merupakan file miliknya, menyebabkan keluhan masalah karya seseorang yang disini berupa file dapat diakui orang lain kemungkinan terburuk bisa disalah gunakan untuk kejahatan.

Kerahasiaan pada konten sebenarnya tidak terlalu penting karena memang konten tersebut harus bisa diakses oleh publik, namun untuk hak cipta (*copyright*) itu yang menjadi perhatian

husus agar tidak disalah gunakan oleh pihak lain. Dari masalah tersebut menjadikan pentingnya watermarking, seseorang tidak mungkin mengikhlaskan karya cipta yang telah dibuat diambil begitu saja dan diklaim orang lain bahwa ini hasil karya miliknya. Dengan ini peneliti dapat mengamankan keaslian konten untuk melindungi hak cipta konten tersebut. Watermarking sendiri merupakan proses penyisipan data pribadi atau bisa berupa kode unik ke dalam suatu host (teks, gambar, audio, video) yang nantinya bisa digunakan untuk menjadi tanda (*watermark*) file tersebut milik siapa, penelitian ini difokuskan pada penyisipan di audio tetapi tidak bisa dirasakan oleh indra manusia secara langsung karena penyisipan bit ini dilakukan dengan memanfaatkan kekurangan pendengaran pada manusia dengan kata lain mencari celah dari sistem pendengaran. Setelah dilakukan penyisipan watermarking ini maka tanda hak kepemilikan (*copyright*) suatu karya tidak dapat dengan mudah diklaim sembarangan oleh orang lain. Karena *watermark* ini tidak dapat dideteksi ataupun dihilangkan oleh orang yang tidak mengetahui skema penyisipan [1].

Menurut [2] *Audio watermarking* atau penandaan audio merupakan sebuah teknik penyisipan satu atau beberapa informasi ke dalam sinyal *host audio*. Dalam proses *watermarking* terdapat beberapa metode yang sudah dikembangkan. Pada [3] menyebutkan bahwa proses *watermarking* telah mencapai kemajuan yang sangat berarti ditandai dengan banyaknya algoritma yang mumpuni untuk dapat menanamkan *watermark* ke file host audio menggunakan metode *watermarking* yang secara langsung telah memodifikasi sampel audio. Dalam proses *watermarking* terdapat beberapa metode yang sudah dikembangkan. Metode tersebut digolongkan ke dalam dua metode berdasarkan jenis domain, yaitu metode dengan domain frekuensi dan metode dengan domain waktu [4] [5] [6]. Keduanya memiliki ciri yang berbeda dan telah disesuaikan dengan tujuan dan kebutuhan dari penggunaan *watermarking* itu sendiri.

Pada penelitian sebelumnya, [2] telah melakukan penelitian serupa menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) yang diujikan menggunakan audio bass, wav menghasilkan subband frekuensi rendah dan tinggi dengan serangan berupa *filtering*, *resampling*, *pitch shifting*, *filtering* dan *time scale modification* yang mendapatkan kualitas audio terbaik dan tahan terhadap berbagai serangan pengolahan sinyal. Kekurangan pada penelitian ini [2] adalah kualitas *watermark* yang menurun. Penelitian selanjutnya [7] menggunakan kombinasi antara metode histogram dan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) serta metode optimasi menggunakan algoritma genetika.

Transformasi *Wavelet* adalah suatu metode untuk menganalisis sinyal. Transformasi *Wavelet* merupakan metode lain dari *Short Time Fourier Transform* (STFT) yang dijadikan sempurna dengan tujuan untuk menanggulangi permasalahan tentang resolusi waktu dan frekuensi. Secara spesifik, tidak seperti pada *Short Time Fourier Transform* (STFT) yang *uniform time resolution* atau resolusi waktu yang seragam untuk seluruh frekuensi. *Discrete Wavelet Transform* (DWT) memiliki ciri yang dapat digunakan pada tiga jenis resolusi yaitu, *high time resolution*, *low time resolution* dan *low frequency resolution* untuk frekuensi rendah. Oleh karena itu pada transformasi *wavelet* ini, sinyal akan disederhanakan sehingga menjadi komponen frekuensi tinggi dan komponen frekuensi rendah.

Seringnya sebuah histogram digunakan untuk mendeskripsikan suatu penyaluran data. Umumnya perolehan audio histogram dilakukan dengan cara memecah range dari nilai sampel ke dalam bin yang besarnya sama. Nomor atau nilai sampel dari audio jatuh ke dalam beberapa bin [8].

Serangan pada *Audio Watermarking* dapat digunakan untuk mengetahui nilai ketahanan suatu sistem yang telah dirancang. Setelah serangan dilakukan, selanjutnya dapat dilakukan pengukuran ketepatan dari data hasil proses ekstraksi *watermark* yang telah disisipkan pada *file* audio dengan membaca parameter dari *Bit Error Rate* (BER). Serangan dilakukan menggunakan metode *Low Pass Filter* (LPF). *Low Pass Filter* (LPF) digunakan untuk memfilter sinyal frekuensi, dengan melepaskan sinyal frekuensi yang berada dibawah frekuensi *cut off* atau batas frekuensi kemudian meredam sinyal frekuensi diatas frekuensi *cut off* atau batas frekuensi [8].

Sementara ketahanan (*robustness*) dari *audio watermarking* menjadi hal yang sangat penting [9] [10] [11] [12]. Dalam studi [13] menyelidiki kemungkinan melindungi kumpulan data klasifikasi audio yang digunakan pada pembelajaran mendalam dengan menyematkan pola ke

dalam besarnya representasi waktu-frekuensi dari subset kumpulan data. Sedangkan penelitian [14] menggunakan DWT untuk mendapatkan perkiraan daya atau energi dari segmen audio. Dalam penelitian [14] memberikan hasil bahwa skema yang diusulkan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap *noise*, *resampling*, LPF, dan pendekatan ini memecahkan kontradiksi mengenai *inaudibility* dan ketahanan (*robustness*). *Robustness* merupakan ketahanan sebuah audio watermarking dalam menghadapi berbagai serangan [15].

DWT banyak dikembangkan dan digunakan dalam watermarking. Dalam penelitian [16] audio watermark yang didapat mempunyai ketahanan dan kapasitas yang tinggi. Dalam [17] [18] DWT yang dikembangkan memiliki *robustness* atau ketahanan terhadap serangan dan *imperceptible* berdasarkan nilai parameter BER, ODG dan SNR.

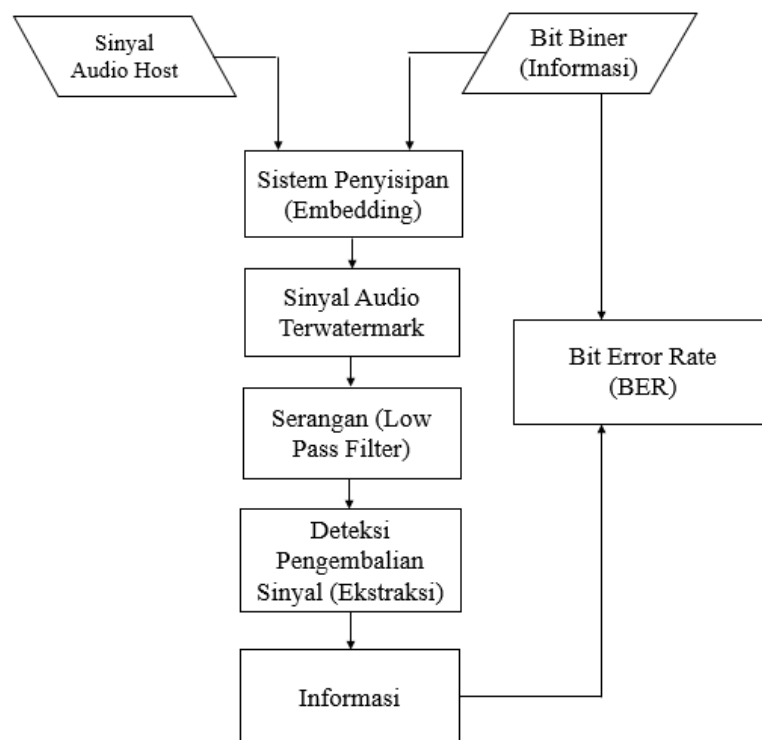
Gabungan antara *Stationary Wavelet Transform* dengan *Histogram-Based Audio Watermarking* telah diuji coba dalam penelitian sebelumnya [19] yaitu didapatkan nilai ODG sebesar -0.6 dan SNR hingga 40.00 dB disertai optimasi menggunakan metode algoritma Genetika. Jika tanpa optimasi genetika mendapatkan nilai ODG sebesar -1.43 dan nilai SNR 37.76 dB [20]. Dalam penelitian [19], DWT dan histogram dipadukan dengan algoritma genetika sehingga mempunyai kompleksitas pemrosesan yang tinggi.

Penelitian ini, kami menggabungkan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dan metode histogram untuk membuat watermarking pada sinyal audio. Tujuan dari penelitian kali ini yaitu untuk menguji ketahanan dari informasi yang disisipkan dengan pengujian menggunakan serangan Low Pass Filter (LPF) menggunakan parameter *Bit Error Rate* (BER) terhadap informasi yang disisipkan.

2.METODE PENELITIAN

2.1 Desain Sistem

Sistem terdiri dari tiga bagian besar, diantaranya adalah sistem penyisipan, sistem deteksi, dan sistem untuk pengujian (serangan). Penelitian ini akan diuji menggunakan parameter *Bit Error Rate* (BER). Desain sistem pada penelitian kali ini diuraikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain sistem

2.2 Proses Penyisipan (Embedding)

Proses penyisipan (*embedding*) diawali dari penyisipan informasi atau *watermark* kedalam sinyal host. Selanjutnya *Framing*, yaitu proses pemecahan sinyal audio ke dalam beberapa frame. Tujuan dari proses ini adalah untuk menyederhanakan proses penyisipan informasi sebagai watermark.

Discrete Wavelet Transform (DWT) adalah teknik untuk menganalisis sinyal audio. Tujuan dari pengembangan teknik ini adalah sebagai Teknik lain dari teknik *Short Time Fourier Transform* (STFT) dalam memecahkan masalah terkait properti sinyal pada kedua domain. Mengubah sinyal audio dari domain waktu menjadi domain frekuensi agar *watermark* memungkinkan untuk disisipkan ke bagian yang signifikan dan penting dari *host audio* yang memberikan ketahanan tinggi terhadap serangan pengolahan sinyal audio. Melalui transformasi *wavelet* ini, sinyal disederhanakan kedalam komponen ber frekuensi rendah dan komponen ber frekuensi tinggi.

Sinyal audio host yang telah mengalami *framing processing* kemudian didekomposisi *Discrete Wavelet Transform* (DWT) tingkat pertama. Pada proses penyederhanaan ini, sinyal host audio dibagi menjadi dua komponen yaitu, komponen dengan frekuensi rendah dan komponen frekuensi tinggi. *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dari sebuah sinyal x dilewatkan dengan serangkaian filter Pertama dan *Low Pass Filter* (LPF) meloloskan sampel dengan respon impuls g [21]:

$$y[n] = (x * g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[n - k] \quad (1)$$

Sinyal didekomposisi secara bersamaan menggunakan frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Yang terpenting pada proses dekomposisi ini adalah dua filter tersebut saling berhubungan. Akan tetapi, sesuai aturan Nyquist yang mengharuskan setengah dari frekuensi sinyal dihapus dan setengah dari sample dilenyapkan [21]. Adapun hasil yang didapat dari filter ini dapat diperoleh dengan [21]:

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

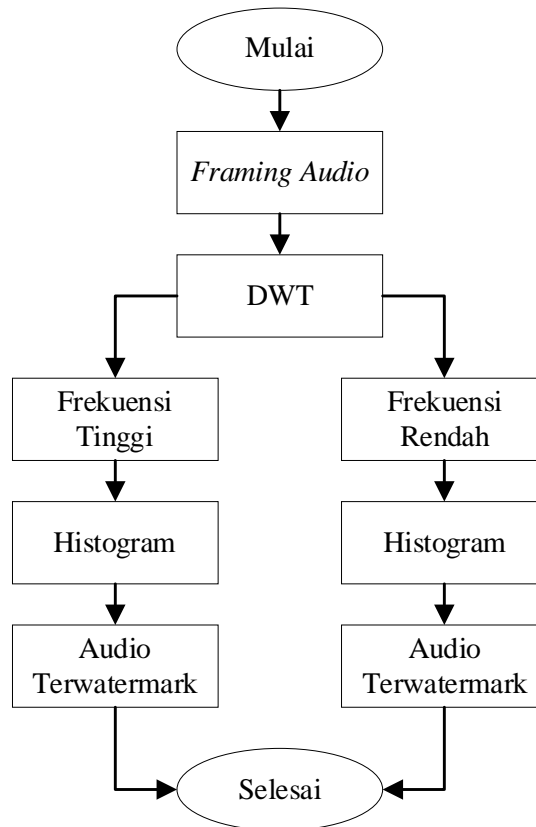
$$y_{tinggi}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[2n - k] \quad (3)$$

Proses penyisipan ini menggunakan Histogram. Sinyal host audio yang telah mengalami proses *framing* kemudian didekomposisi. Dalam proses penyederhanaan ini, sinyal host audio dibagi menjadi dua komponen frekuensi yaitu, komponen dengan frekuensi rendah dan komponen frekuensi tinggi. Pengujian akan dilakukan didalam dua komponen frekuensi tersebut.

Selanjutnya sinyal frekuensi rendah dan sinyal frekuensi tinggi ini diproses melalui pemilihan range penyisipan menggunakan algoritma Histogram sehingga memperoleh hasil himpunan $B = [-\lambda\bar{A}, \lambda\bar{A}]$ untuk merenggangkan atau menjabarkan dari histogram $H = \{h(i) | i = 1, \dots, L\}$. Dimana \bar{A} adalah rata-rata dari perubahan amplitudo yang diperoleh dari persamaan berikut [22]:

$$\bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f(i)| \quad (4)$$

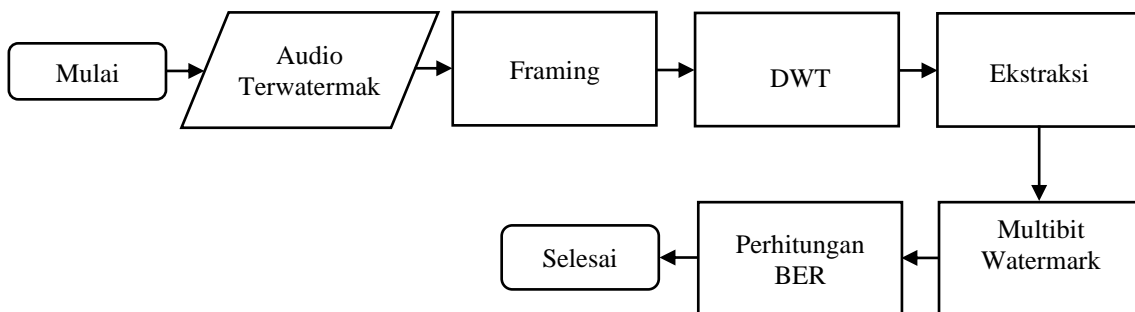
Asumsikan bahwa watermark $W = \{w_i | i = 1, \dots, L_w\}$ akan di-*hide* kedalam host audio $F = \{f(i) | i = 1, \dots, N\}$. Watermark W harus dalam bentuk biner angka “0” dan “1” dengan tujuan supaya seluruh bit watermark dapat disisipkan, $L \geq 3L_w$. λ adalah nilai lebih dari nol yang terpilih untuk memenuhi $h(i) \gg L, \lambda \in [2.0, 2.5]$. Proses selanjutnya adalah penyeleksian range dan perenggangan sinyal dan dilanjut proses penyisipan *multi bit watermark* (bit 1 dan 0).



Gambar 1. Proses Penyisipan (*Embedding*)

2.3 Proses Ekstraksi

Pada proses ekstraksi atau proses pengambilan sampel untuk memperoleh nilai ketahanan *file* dari sebuah *attack Low Pass Filter* (LPF). Setelah melewati proses penyerangan terwatermark akan masuk ke proses *framing Discrete Wavelet Transform* (DWT). Proses *Framing* merupakan proses memecahkan sinyal audio menjadi *frame high* dan *frame low*. Proses ini mendapatkan hasil audio yang terekstraksi. Hasil ekstraksi yang telah didapat dihitung menggunakan parameter *Bit Error Rate* (BER).



Gambar 2. Proses Ekstraksi

Dalam penelitian ini, proses pengambilan sampel digunakan untuk menguji ketahanan *file* yang dilakukan dengan serangan menggunakan metode *Low Pass Filter* (LPF). Proses ekstraksi ini menggunakan metode *Histogram* dilakukan yang dengan mencari *range* yang telah disisipkan bit-bit informasi untuk *watermarking*. Teknik pencarian *range* tersebut misal dinotasikan dengan $[\bar{A}''(1\ 1), \bar{A}''(1\ +\ 2)]$. \bar{A}'' menyatakan *mean* audio terwatermark $F'' = \{f''(i) \mid i =$

$1, \dots, N\}$. Selanjutnya menghitung beberapa sampel pada tiap bin yang berhubungan, dan di-compare sehingga bit yang tersembunyi menggunakan persamaan [22]:

$$w'' = \begin{cases} 1, & \text{jika } \frac{2b''}{a''+c''} \geq 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

2.4 Attack (Serangan)

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian menggunakan metode *attack Low Pass Filter* (LPF). Attack pada audio *watermarking* dilakukan untuk memperoleh nilai yang mengindikasikan seberapa ketahanan sebuah sistem yang telah dirancang. Nilai pasti dari data hasil ekstraksi *watermark* yang disisipkan pada file audio dapat diukur dengan membaca parameter BER setelah serangan dilakukan. *Attack* dilakukan dengan melepaskan sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi *cut off* dan menahan sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi *cut off*.

Serangan *Low Pass Filter* (LPF) digunakan untuk memfilter sinyal frekuensi, dengan melepaskan sinyal dengan frekuensi di bawah batas frekuensi menahan sinyal dengan frekuensi di atas batas frekuensi. Sinyal dengan frekuensi rendah memusatkan sebagian besar atau dominan energi dari sinyal audio yang merupakan bagian utama dari sinyal host audio. Serangan dari *Low Pass Filter* (LPF) akan memberikan dampak buruk terhadap audio yang terwatermark karena serangan ini bisa merusak sinyal informasi yang disisipkan.

2.5 Bit Error Rate (BER)

Hasil dari proses ekstraksi kemudian diketahui menggunakan parameter *Bit Error Rate* (BER) untuk nilai kerusakan pada watermark yang disisipkan. Nilai *Bit Error Rate* (BER) dihitung dengan cara membandingkan jumlah bit hasil ekstraksi yang salah atau error dengan bit informasi awal.

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{jumlah bit keseluruhan}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana jumlah bit error merupakan perbandingan banyaknya bit yang berbeda antara bit yang diterima dan bit yang dikirim. Sedangkan jumlah bit keseluruhan merupakan banyaknya bit dari audio *watermark*. Semakin sedikit selisih bit, maka semakin kecil nilai BER yang didapat. Semakin kecil BER maka kualitas audio *watermark* masih terjaga dengan baik [24].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat dua sistem penting dalam proses audio watermarking ini, yaitu penyisipan (*embedding*) dan ekstraksi. Sinyal audio dianalisis dalam domain waktu, karena sinyal audio bersifat non-stationer dan berubah terhadap waktu. Maka, proses penyisipan (*embedding*) dan ekstraksi ditetapkan pada setiap frame. Analisis sistem audio watermarking dilakukan untuk mengetahui ketahanan audio terwatermark terhadap serangan *Low Pass Filter* menggunakan metode *Discrete Wavelet Transforms* dan Histogram. File audio yang digunakan adalah file jenis *.wav dengan tiga macam audio dengan genre yang berbeda, yaitu audio percakapan, audio hip-hop, dan audio rock dengan durasi 10 detik.

3.1 Jumlah watermark

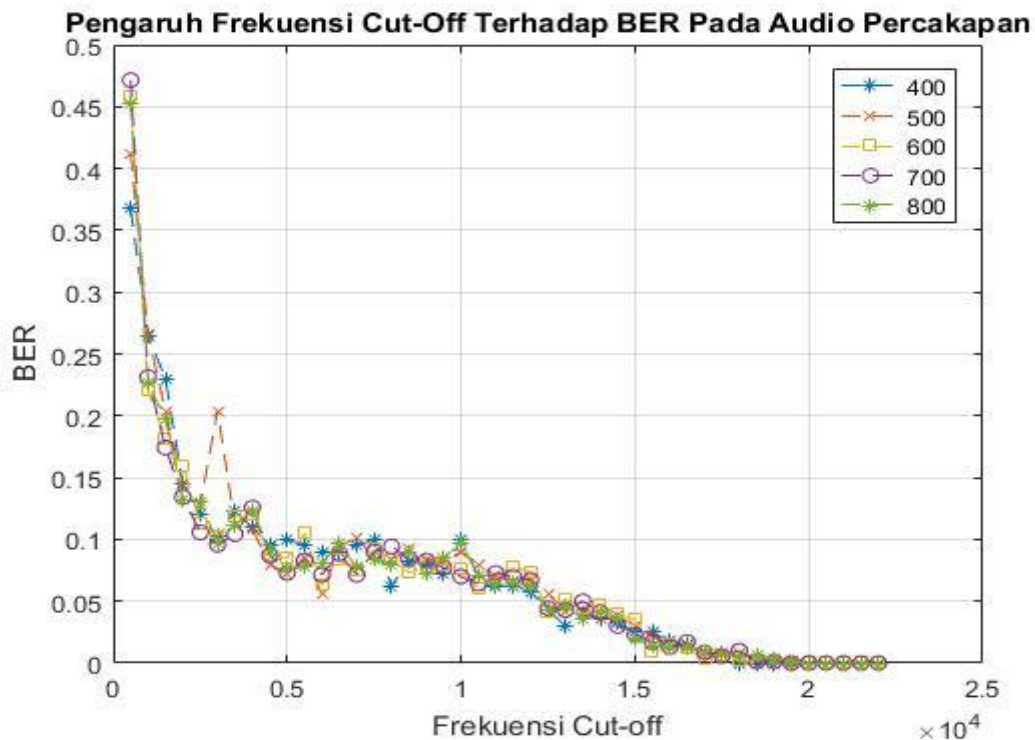
Dalam penelitian ini, disisipkan bit angka biner ke dalam audio *.wav berdurasi 10 detik dengan genre yang berbeda (percakapan, hip hop, dan rock). Jumlah bit maksimal *watermark* yang dapat disisipkan ke dalam audio berdurasi 10 detik adalah 861 bit. Tanpa ada serangan (*attack*), audio terwatermark yang diekstraksi mendapatkan nilai BER sama dengan nol. Dalam

artian bahwa tanpa adanya serangan, desain sistem yang diusulkan sangat kuat dan baik dikarenakan tidak ada informasi *watermark* yang rusak maupun hilang. Pengujian pada proses penyisipan ini dilakukan pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi.

3.2 Ketahanan Watermark Terhadap Serangan LPF

Dalam pengujian ketahanan, *audio watermarking* diuji menggunakan serangan *Low Pass Filter* (LPF). Pengujian dilakukan pada tiga host audio (percakapan, hip hop, dan rock). Audio yang digunakan berdurasi 10 detik dengan file jenis *.wav. Penyisipan pada pengujian ini dilakukan pada frekuensi tinggi. Metode ini belum cocok digunakan saat penyisipan berada di frekuensi rendah, hal ini dibuktikan dengan hasil BER yang relatif tinggi. Maka karena itu, penelitian kali ini berfokus pada penyisipan di frekuensi tinggi pada metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT).

Gambar 4, gambar 5, dan gambar 6 adalah hasil dari desain sistem yang diusulkan. Pada gambar tersebut, dilakukan pengujian pada desain sistem yang diusulkan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui ketahanan *watermark* yang disisipkan terhadap serangan *Low Pass Filter* (LPF). Dalam pengujian, watermark yang disisipkan sebanyak 400, 500, 600, 700, dan 800 bit.



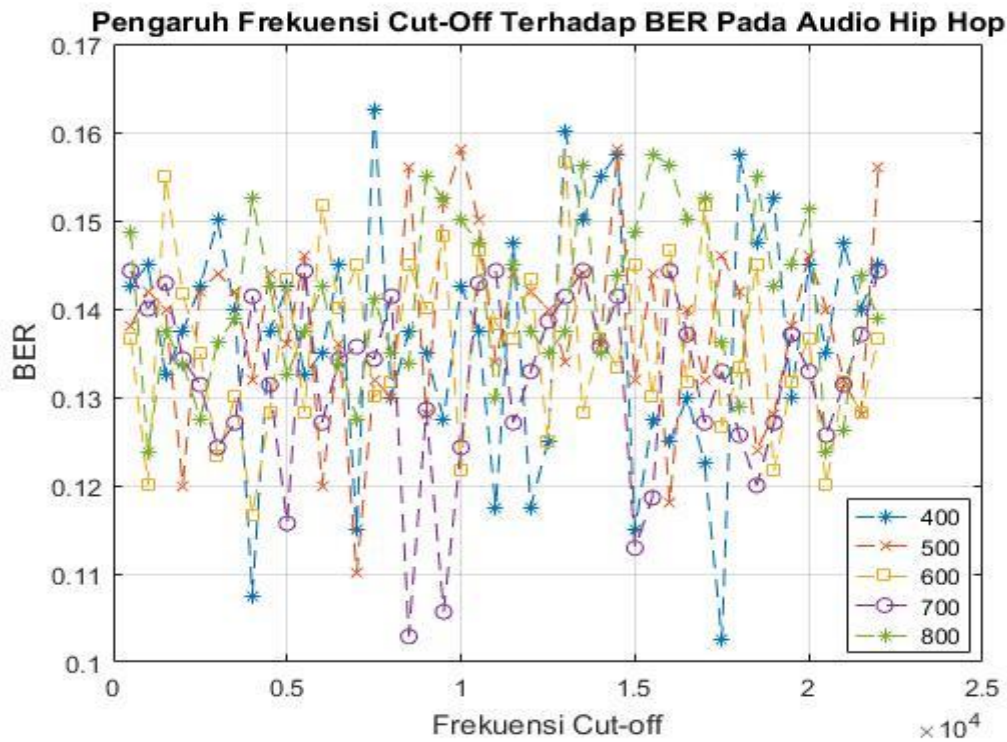
Gambar 3. Pengaruh Frekuensi *Cut-Off* Terhadap BER pada Audio Percakapan

Gambar 4 merupakan hasil dari desain yang diimplementasikan pada audio percakapan. Audio percakapan yang digunakan adalah suara seorang laki-laki yang sedang berbicara. Hasil yang didapat dalam pengujian ini adalah nilai BER mendekati 0 ketika frekuensi *cut off* semakin tinggi. Dalam pengujian ini, jumlah bit yang disisipkan tidak berpengaruh terhadap BER. Yang memiliki pengaruh besar adalah frekuensi *cut off*. BER rata-rata yang didapat dalam pengujian ini adalah 0,06963.

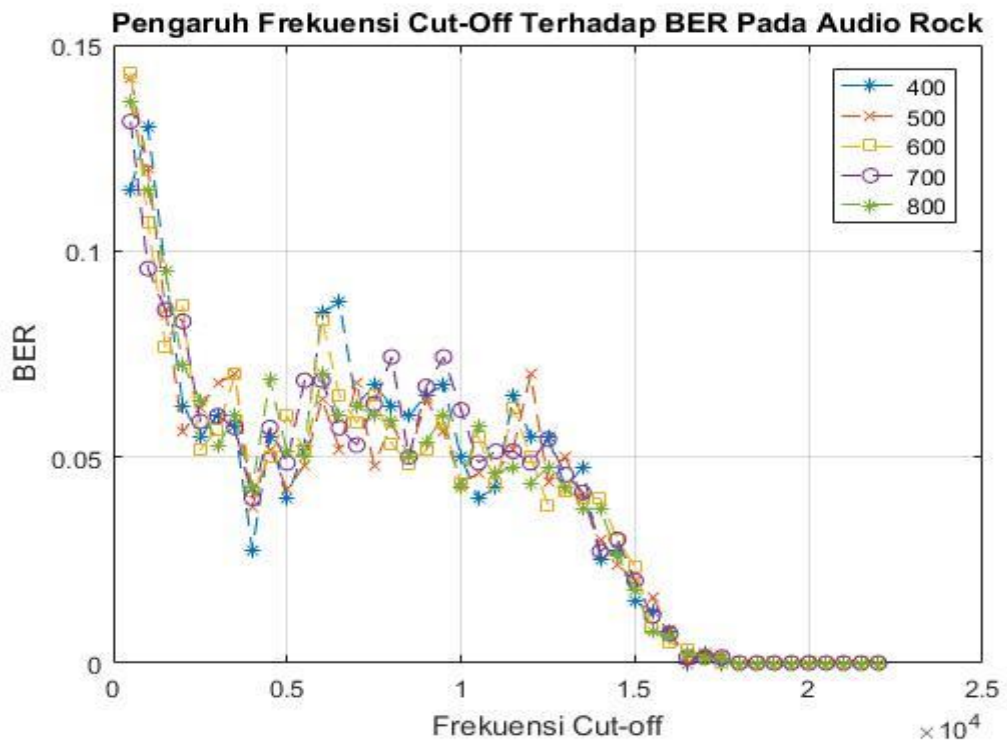
Gambar 5 menunjukkan hasil dari analisa terhadap audio dengan genre hip-hop. Pada audio hip-hop, BER lebih kecil dibanding dengan audio percakapan. BER rata-rata pada pengujian ini adalah 0,11791.

Gambar 6 merupakan hasil dari pengaruh besarnya frekuensi cut-off terhadap BER pada audio dengan genre rock. Audio rock terbukti sangat tahan terhadap serangan Low Pas Filter

(LPF) dibandingkan dengan genre lainnya. Rata-rata nilai BER pada pengujian ini adalah 0,04652.



Gambar 4. Pengaruh Frekuensi *Cut-Off* Terhadap BER pada Audio Hip-hop



Gambar 5. Pengaruh Frekuensi *Cut-Off* Terhadap BER pada Audio Rock

4.KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian yang dilakukan pada audio *.wav berdurasi 10 detik dapat disisipi watermark sebanyak 861 bit. Tanpa serangan, metode ini dapat mengekstrak watermark dengan sempurna tanpa ada kekeliruan. Umumnya, semakin tinggi frekuensi cut off, nilai BER semakin mendekati nol. Metode ini cocok digunakan di genre audio rock karena mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap serangan LPF dimana angka rata-rata BER adalah 0,04652. Rata-rata BER keseluruhan yang didapat saat dilakukan serangan LPF adalah 0,07952.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih selalu terucap untuk Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala kelancaran pelaksanaan penelitian dan Universitas Negeri Semarang yang telah mendanai penelitian ini melalui DIPA Fakultas Teknik Tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. N. Turnip, J. Doloksaribu, V. Purba and I. Saragih, "Pengaruh Kapasitas Dimensi Citra Watermark Terhadap Audio Watermarking Dengan Perpaduan Metode Dwt(Discrete Wavelet Transform) Dan Svd (Singular Value Decomposition)," *Jurnal Teknologi Infomasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 2019.
- [2] N. Maharani, B. Geral and N. Ibrahim, "Perancangan Audio Watermarking Berbasiskan DWT dengan Metode Hybrid SMM dan SS," *SENTER*, 2019.
- [3] Y. Chincholkar, S. Ganorkar and S. P. Kude, "A Survey: Digital Watermark Designed Methods," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2017.
- [4] Acevedo, "Digital Watermarking for Audio Data in Techniques and Applications of Digital Watermarking and Content Protection," *Artech House, USA*, 2003.
- [5] M. Arnold, "Audio Watermarking : Features, Applications, and Algorithms," *IEEE International Conference on Multimedia and Expo. ICME2000. Proceedings. Latest Advances in the Fast Changing World of Multimedia*, pp. 1013-1016.
- [6] A. Al-Haj, A. Mohammad and L. Bata, "DWT - Based Audio Watermarking," *The International Arab Journal of Information Technology*, pp. 326-333.
- [7] V. N. Sulistyawan, Y. Karina and G. Budiman, "Audio Watermarking dengan Discrete Wavelet Transform dan Histogram Menggunakan Optimasi Algoritma Genetika," *Prosiding SENIATI*, pp. B64. 1-7, 2017.
- [8] C. Angelista. D, G. Budiman and L. Novamizanti, "Perancangan Audio Watermarking Dengan Teknik Dwt-Hitogram Yang Diterapkan Pada Aplikasi Web," *Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*, 2017.
- [9] W. Weina, "Digital audio blind watermarking algorithm based on audio characteristic and scrambling encryption," *2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, pp. 1195-1199, 2017.
- [10] R. Subhashini and K. B. Bagan, "Robust audio watermarking for monitoring and information embedding," *2017 Fourth International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN)*, pp. 1-4, 2017.
- [11] B. M. Garlapati and K. R. Kakkirala, "Malicious audio source detection using audio watermarking," *2015 Asia Pacific Conference on Multimedia and Broadcasting*, pp. 1-5, 2015.

- [12] R. Warkar, P. More and D. Waghole, "Digital audio watermarking and image watermarking for information security," *2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC)*, pp. 1-5, 2015.
- [13] W. Kim and K. Lee, "Digital Watermarking For Protecting Audio Classification Datasets," *ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 2842-2846, 2020.
- [14] Y. Yang, M. Lei, M. Cheng, B. Liu, G. Lin and D. Xiao, "An audio zero-watermark scheme based on energy comparing," *China Communications*, vol. 11, no. 7, pp. 110 - 116, 2014.
- [15] S. M. Deokar and B. Dhaigude, "Blind audio watermarking based on discrete wavelet and cosine transform," *International Conference on Industrial Instrumentation and Control*, 2015.
- [16] R. N. Alief, G. Budiman and L. Novamizanti, "Audio Watermarking Berbasiskan DWT-DCT Menggunakan Multibit Spread Spectrum," *SENTER 2019: Seminar Nasional Teknik Elektro 2019*, pp. 234-241, 2019.
- [17] R. F. Damanik, R. A. Pramesthi, G. Budiman and S. Saidah, "Audio Watermarking Berbasiskan DWT-DCT-SVD-CPT Menggunakan QIM dan SS," *SENTER 2019: Seminar Nasional Teknik Elektro 2019*, pp. 166-173, 2019.
- [18] O. Abodena, "Robust and high-capacity audio watermarking based on chirp z-transform," *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 1-4, 2019.
- [19] V. N. Sulistyawan, G. Budiman and I. Safitri, "Histogram-based audio watermarking with synchronization in stationary audio subband," *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, pp. 195-201, 2018.
- [20] V. N. Sulistyawan, G. Budiman, E. Sarwono and D. Prastiyanto, "Performansi Audio Terwatermark dengan Metode Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Histogram Audio Watermarking Terhadap Parameter SNR dan ODG," *Edu ElektriKa Journal*, pp. 84-90, 2019.
- [21] W. Zeng, "A Novel Audio Watermarking Algorithm Based on Chirp Signal and Discrete Wavelet Transform," *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp. 1-4, 2013.
- [22] S. Xiang and J. Huang, "Histogram-Based Audio Watermarking Against Time-Scale Modification and Cropping Attacks," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 9, no. 7, pp. 1357 - 1372, 2007.
- [23] S. Larbi and M. Jaidane-Saidane, "Audio watermarking: a way to stationnarize audio signals," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 53, no. 2, pp. 816 - 823, 2005.
- [24] . N., Budiman, G., & Novamizanti, L. Audio Watermarking Berbasiskan DWT-DCT Menggunakan Multibit Spread Spectrum. *SENTER 2019: Seminar Nasional Teknik Elektro*, pp. 234-241, 2019.