

Audio Watermarking Berbasiskan DWT-DCT Menggunakan Multibit Spread Spectrum

Audio Watermarking Based on DWT-DCT Using Multibit Spread Spectrum

Revin Naufal Alief^{1*}, Gelar Budiman², Ledy Novamizanti³

^{1,2,3}Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Indonesia 40257, Bandung, Indonesia

revinnaufal@student.telkomuniversity.ac.id^{1*}, gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id²,

ledyaldn@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak – Perkembangan teknologi dan internet yang sangat pesat memberikan beberapa dampak negatif pada data digital yang beredar, salah satu kasus yang terjadi merupakan pembajakan data digital. Data digital yang sering menjadi permasalahan salah satunya adalah berkas multimedia berupa audio. Dikarenakan hal tersebut, dibutuhkan suatu inovasi untuk melindungi hak cipta terhadap data audio. Metode untuk melindungi hak cipta yang sering digunakan adalah watermarking. Fokus utama dalam metode watermark adalah robustness dan imperceptibility. Dalam makalah ini, diusulkan sebuah metode menggunakan multibit spread spectrum berdasarkan DWT (Discrete Wavelet Transform) dan DCT (Discrete Cosine Transform) untuk audio watermarking. Pada metode ini, Discrete Wavelet Transform (DWT) digunakan untuk pemilihan sub-band frekuensi tinggi berdasarkan threshold lalu mengubah sub-band tersebut dengan menggunakan Discrete Cosine Transform (DCT) menjadi domain frekuensi. Multibit spread spectrum digunakan agar kapasitas watermark yang disisipkan dalam sebuah audio menjadi lebih banyak. Hasil yang didapat menggunakan metode audio watermarking yang diusulkan diharapkan bahwa audio watermark yang didapat memiliki kapasitas dan ketahanan yang tinggi.

Kata Kunci: Audio watermarking, Discrete Cosine Transform, Multibit Spread Spectrum

Abstract – The fast development of technology and internet give a number of negative effect to the digital data that got shared, one of the cases that often happen is pirated digital data. Digital data that often appear is multimedia file such as audio. The needs of technology to protect the copyright of the audio data. Many methods have been developed, one of them is watermarking. The main focus of watermark methods are robustness and imperceptibility. In this paper, a method is proposed using multibit spread spectrum based on DWT (Discrete Wavelet Transform) and DCT (Discrete Cosine Transform). In this method Discrete Wavelet Transform is used for choosing the high frequency sub-band based on threshold and then transform the chosen high frequency to the frequency domain using Discrete Cosine Transform. Multibit spread spectrum is used for increasing the capacity of watermark that will be embedded to the audio. The proposed method of this audio watermarking is hoped to be resulted as a high robustness and capacity.

Keywords: Audio watermarking, Discrete Cosine Transform, Multibit Spread Spectrum

1. Pendahuluan

Hak cipta merupakan bagian dari Hak atas Kekayaan Intelektual (HaKI). Berdasarkan [1] ada beberapa hak yang termasuk dalam HaKi, yaitu hak cipta, hak paten, merk, rahasia dagang,

waralaba, lisensi dan royalti, desain industri, lalu internet dan *domain names*. Kasus pembajakan terkait hak cipta dari suatu karya marak terjadi di Indonesia. Dalam mengatasi hal tersebut, sudah lama Indonesia mengeluarkan undang-undang hak cipta yang berfungsi untuk memberikan perlindungan hukum untuk hak cipta tersebut, salah satu hak cipta yang dilindungi dalam ketentuan undang-undang adalah hak cipta atas karya musik dan lagu [2]. Salah satu cara untuk membuktikan orisinalitas dari suatu karya adalah dengan menggunakan watermark.

Pada umumnya, watermark merupakan sebuah gambar atau teks yang bersifat transparan dan disisipkan ke gambar lain atau produk digital lain yang bertujuan untuk melindungi orisinalitas sebuah karya. Teknik penyisipan watermark tersebut disebut *watermarking*. *Watermarking* yang baik harus memiliki beberapa syarat, yaitu *robustness* (ketahanan), *imperceptibility* (tidak terasa oleh panca indera), *security* (tidak dapat terdeteksi) [3]. Untuk melakukan penyisipan watermark dapat dilakukan dengan beberapa metode.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk menguji Multibit SS, pada makalah [5], didapatkan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang melebihi 20 dB melalui pengujian beberapa jenis audio. Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa metode FFT dan *Spread Spectrum* akan memberikan ketahanan yang baik di watermark terhadap serangan *Low Pass Filter* (LPF), Resampling dengan syarat frekuensi resampling mendekati frekuensi sampling aslinya, AWGN yang dihasilkan lebih dari 40 dB. Sedangkan dengan pengujian serangan kompresi, metode ini hanya memberikan ketahanan yang baik di audio suara manusia atau *voice*.

Pada makalah [6] menggunakan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT)-SS dilakukan penyebaran *multiple* bit dari watermark dengan menggunakan satu *Pseudo Noise* (PN) *Sequences*. Berdasarkan makalah ini, didapatkan bahwa dengan metode tersebut, didapatkan watermark yang tahan terhadap *Noise*, LPF, *High Pass Filter* (HPF), *Closed Loop*, *Re-Quantization*, *MP3 Attack*. Dibuktikan dengan hasil pengujian dengan menggunakan *Detection Rate* (DR) yang mendekati 100 untuk setiap serangan watermark yang dilakukan.

Penelitian yang dilakukan oleh [7], dilakukan dekomposisi audio terhadap frekuensi tinggi dan membuatnya menjadi beberapa frame. Kriteria audio yang digunakan dalam penelitian ini adalah frekuensi sampling audio 44100 KHz, 16 bit per sampel, dan channel sebanyak 2. Dengan menggunakan metode ini didapatkan watermark yang *robust* terhadap serangan *noise*, *filtering*, dan *MPEG compression*.

Dalam makalah [8] memberikan informasi perbandingan metode *Spread Spectrum* dalam domain DWT, DCT, dan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Disimpulkan bahwa *Spread Spectrum* dalam domain DWT akan memberikan watermark dengan *robustness* dan SNR yang baik terhadap serangan *MP3 Compression* dan *Re-Quantization Attack*. Hasil *robustness* dan SNR tersebut lebih bagus dibandingkan dengan menggunakan DCT dan DFT.

Pada makalah yang ditulis oleh [9] berfokus pada ketahanan watermark terhadap serangan *MPEG Compression*. Penelitian yang dilakukan adalah dengan menggunakan dekomposisi audio sebanyak 4 level, lalu menggunakan *psychoacoustic model* untuk menentukan posisi *embedding*. Dalam penelitian ini audio yang digunakan memiliki rentang frekuensi 4 – 15 KHz. Dengan menggunakan metode ini didapatkan peningkatan nilai *Normalized Correlation* (NC) sebanyak 4.98% dan SNR yang baik terhadap serangan *MPEG Compression*.

Metode yang digunakan dalam makalah ini memiliki 2 tahap, yaitu proses transformasi dan penyisipan. Dalam melakukan proses transformasi, teknik yang digunakan adalah *Discrete Wavelength Transformation* (DWT) dan *Discrete Cosine Transformation* (DCT). Sedangkan untuk proses penyisipan menggunakan teknik *Multibit Spread Spectrum* (Multibit SS).

Penggunaan *Multibit SS* dalam proses penyisipan informasi berfokus pada penyisipan di frekuensi tinggi. Proses yang digunakan dalam *Multibit SS* adalah dengan melakukan penyebaran bit watermark ke semua komponen sinyal host [4]. Dengan begitu, pelaku yang berusaha melakukan penyerangan terhadap watermark akan sulit mengidentifikasi posisi watermark yang telah disisipkan.

Secara garis besar inti pada makalah ini terdapat 2 bagian. Penjelasan tentang metode yang diusulkan dari makalah ini yakni, *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Discrete Cosine Transform* (DCT), dan *Multibit Spread Spectrum* lalu penjelasan tentang skema atau proses

embedding dan ekstraksi akan dijelaskan pada bagian 2. Sedangkan hasil penelitian dan analisis akan dijelaskan pada bagian 3. Lalu pada bagian 4 akan dijelaskan kesimpulan yang didapat dari makalah ini.

2. Metode Penelitian

Dalam bagian metode penelitian, akan dijelaskan metode yang digunakan pada penelitian ini. Cakupan yang dibahas berupa metode penelitian dan metode analisis data.

2.1. Metode Penelitian

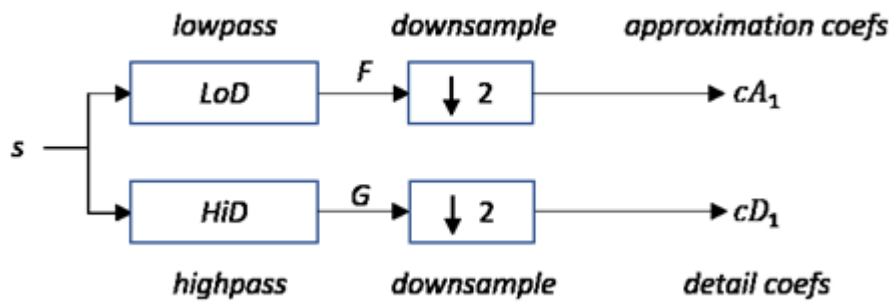
2.1.1. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Discrete Wavelet Transform (DWT) merupakan teknik untuk merubah sinyal menjadi beberapa wavelet yang terbagi secara rata. DWT memiliki fungsi yang diturunkan dari mother wavelet. Fungsi mother wavelet dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$F(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi_{(a,b)}^*(x)dx \tag{1}$$

dimana $f(x)$ merupakan sinyal dalam domain waktu dan $\psi_{(a,b)}^*$ merupakan bentuk wavelet yang bersifat konjugasi kompleks [10].

Ketika sinyal $f(x)$ dalam domain waktu masuk ke dalam suatu filter yang didapat dari wavelet family, akan didapatkan output yang berupa koefisien DWT[10]. Setiap koefisien DWT yang dihasilkan berisi sinyal dalam domain waktu. Skema umum DWT dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema umum Discrete Wavelet Transform.

Skema pada Gambar 1 menjelaskan bahwa sinyal “s”, dalam kasus ini sinyal “s” = $f(x)$ pada (1), akan dibagi menjadi 2 bagian, yaitu sinyal “s” dengan frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Sinyal “s” frekuensi tinggi didapatkan dengan melakukan konvolusi terhadap high pass filter dan frekuensi rendah didapatkan dengan cara melakukan konvolusi terhadap low pass filter. Filter-filter tersebut didapat dari jenis sinyal wavelet yang digunakan. Setelah itu, masing-masing frekuensi dilakukan downsampling sebesar 2 kali lebih kecil dari frekuensi awal. Dari hasil tersebut mendapatkan approximate coefficients untuk hasil frekuensi rendah dan detail coefficient untuk hasil frekuensi tinggi [10].

2.1.2. Discrete Cosine Transform (DCT)

Discrete Cosine Transform (DCT) memiliki fungsi yang sama dengan Fast Fourier Transform. DCT bertujuan untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Dalam proses encoding DCT menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Xc(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} C(k) \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \cos \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \tag{2}$$

untuk $k = 0,1,2,3,4,\dots,(N-1)$ dimana :

$$C(k) = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \text{untuk } k = 0$$

$$\text{dan } C(k) = 1 \quad \text{untuk } k = 1,2,3,\dots, N-1$$

Setelah proses DCT, untuk mengembalikan ke domain waktu menggunakan Inverse Discrete Cosine Transform yang dinyatakan dengan persamaan:

$$x(n) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{k=0}^{N-1} C(k) \cdot Xc(k) \cdot \cos\left(\frac{(2n+1)k\pi}{2N}\right) \tag{3}$$

2.1.3. Multibit Spread Spectrum (Multibit SS)

Spread Spectrum watermarking dinilai sebagai salah satu metode *watermarking* yang paling populer [3],[8]. Dengan menggunakan *SS watermarking*, bit-bit watermark akan disebar melalui spectrum dari sinyal host. Keuntungan yang didapat dari proses penyebaran ini adalah didapatkan *robustness* dan *security* yang kuat dikarenakan setiap bit yang disebar di spektrum sinyal host adalah bit-bit yang kecil dan sulit dideteksi [3].

Secara umum *SS watermarking* membutuhkan *pseudo-random bit generator* (PRG) untuk menghasilkan bit dari watermark yang akan disisipkan. Untuk proses perhitungannya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Y = X + \alpha W. \tag{4}$$

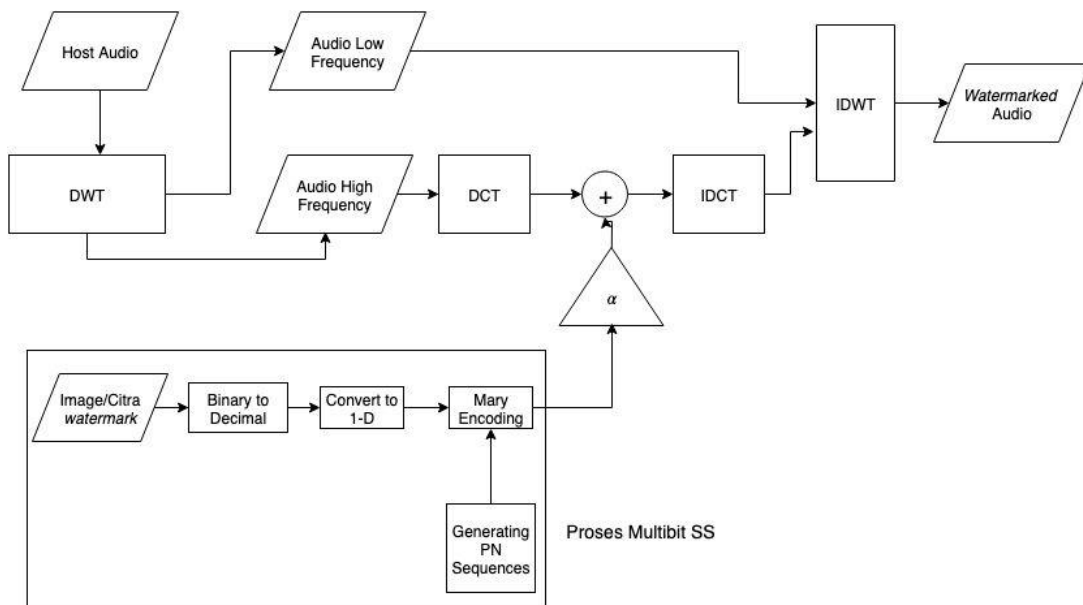
dimana X merupakan sinyal yang sudah ditransformasi, lalu W merupakan bit-bit watermark yang dihasilkan oleh PRG, dan Y adalah sinyal hasil *watermarking*.

Multibit Spread Spectrum Watermarking (Multibit SS) merupakan perkembangan dari *spread spectrum* tradisional. Salah satu pengembangan yang dilakukan berfokus pada peningkatan kapasitas watermark yang dilakukan oleh [6] dan berdasarkan *comparative study* pada [8], penelitian [6] berhasil meningkatkan kapasitas watermark yang lebih baik dengan cara menggunakan satu PRG, dalam hal ini menggunakan satu *Pseudo Noise* (PN) *Sequences*, untuk menyisipkan beberapa bit watermark.

2.2. Metode Analisis

2.2.1. Proses Embedding

Proses *embedding* atau proses penyisipan dilakukan dengan melibatkan metode DWT-DCT terhadap *host* audio. Lalu, menggunakan proses *multibit SS* terhadap data watermark berupa citra untuk menyisipkannya ke *host* audio. Skema penyisipan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Embedding menggunakan *Multibit SS* berbasis DWT-DCT.

Skema embedding tersebut dapat dijelaskan dengan langkah-langkah berikut:

1. *Host* audio yang digunakan untuk penyisipan pada sistem ini berupa audio mono, karena audio mono. Audio mono hanya memiliki 1 kanal sehingga dapat mempermudah proses penyisipan.
2. Citra watermark yang berupa biner dikonversi menjadi decimal.
3. Citra watermark yang berisi decimal lalu diubah menjadi 1 dimensi agar menyesuaikan dengan *host* audio. Karena sinyal audio hanya memiliki 1 dimensi, dengan begitu data citra watermark dapat disisipkan di *host* audio.
4. *Host* audio akan dilakukan proses dekomposisi dengan menggunakan DWT. Proses dekomposisi tersebut menghasilkan 2 bagian frekuensi dari *host* audio, yaitu, *host* audio dengan frekuensi rendah, dan frekuensi tinggi. Proses perhitungan untuk mendapatkan koefisien frekuensi rendah maupun tinggi menggunakan persamaan (2.1). Dalam makalah ini, proses penyisipan dilakukan pada frekuensi tinggi. Hasil dekomposisi sinyal menggunakan DWT merupakan sinyal dalam domain waktu.
5. Selanjutnya hasil frekuensi tinggi diolah dengan DCT. Dengan menggunakan persamaan (2.2), hasil dari DCT menghasilkan koefisien-koefisien yang merepresentasikan sinyal tersebut dalam domain frekuensi. Hasil proses DCT tersebut disisipkan watermark yang telah diproses dengan menggunakan *multibit SS*.
6. Pada proses embedding, perlu dilakukan proses *generating PN Sequences*. Beberapa tahapan yang dilakukan untuk *generating PN Sequences* adalah sebagai berikut:
 - a. Misalkan N_b berupa jumlah bit watermark yang disisipkan per 1 blok kode PN. Untuk menentukan banyaknya *PN Sequences* menggunakan rumus:

$$N_p = 2^{N_b}$$

dimana N_p adalah banyaknya *PN Sequences*.

- b. Lalu asumsikan P_1 sebagai *PN Sequences* sementara dengan panjang N , dimana N berupa panjang kode PN per 1 blok kode PN:

$$P_1 = [p_{11}, p_{12}, p_{13}, \dots, p_{1N}] \tag{5}$$

dimana $N > N_p$ dan $p_i \in \{-1, +1\}$ dimana $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

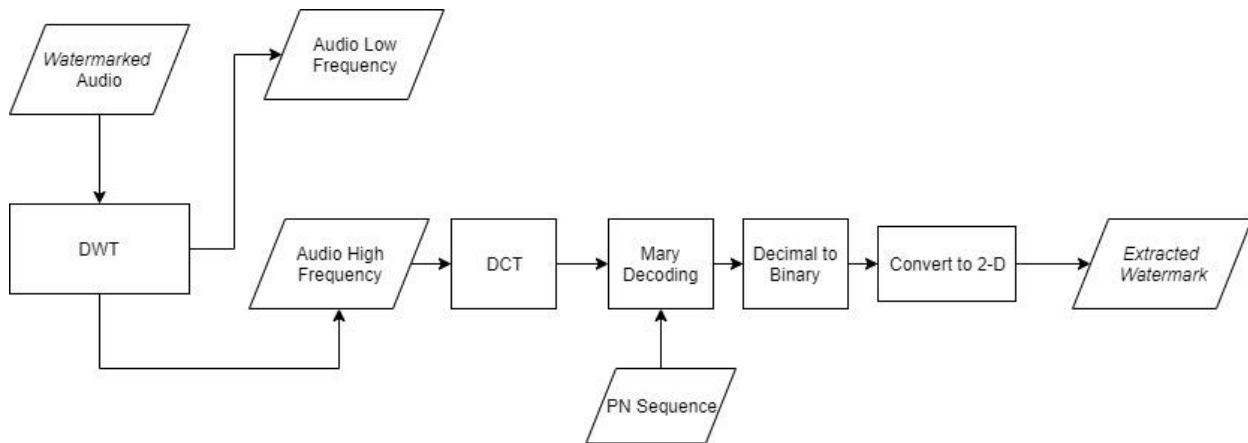
- c. Berdasarkan P_1 kita dapat menentukan P_2 hingga P_{N_p} sehingga terbentuk database *PN Sequences*. Hasil *PN Sequences* akan menjadi :

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2 = [p_{21}, p_{22}, p_{23}, \dots, p_{2N}] \\ P_3 = [p_{31}, p_{32}, p_{33}, \dots, p_{3N}] \\ \vdots \\ P_{N_p} = [p_{N_p1}, p_{N_p2}, p_{N_p1}, \dots, p_{N_pN}] \end{array} \right. \tag{6}$$

7. Lalu setelah mendapatkan *PN Sequences* dapat dibuat representasi antara *PN Sequences* yang telah di *generate* dengan data watermark citra yang telah dirubah menjadi 1 dimensi.
8. Hasil dari tahap 6 dikalikan dengan α . Nilai α dilakukan penyesuaian agar mendapatkan hasil optimal dari sistem watermark.
9. Dari tahap 7 maka didapat watermark yang siap untuk disisipkan. Proses penyisipan menggunakan (4), yakni menambahkan sinyal *host* audio dengan hasil dari proses *multibit SS*. Dalam skema ini, ditambahkan hasil tahap 6 dengan hasil proses DCT pada tahap 4.
10. Setelah itu dilakukan proses IDCT dengan menggunakan (3) untuk mengembalikannya ke domain waktu.
11. Pada tahap *Inverse Discrete Wavelet Transform*, frekuensi rendah dan frekuensi tinggi yang telah disisipkan watermark diolah kembali agar menjadi satu audio utuh yang sudah disisipi watermark, yakni *watermarked* audio.

2.2.2. Proses Ekstraksi

Pada proses ekstraksi, input yang akan masuk ke dalam sistem adalah *watermarked* audio yang telah dilakukan uji coba serangan. Hasil dari proses ekstraksi ini akan menentukan ketahanan suatu watermark yang telah disisipkan dalam suatu audio digital dengan metode penyisipan DWT-DCT-*Multibit* SS. Skema ekstraksi dengan metode penyisipan DWT-DCT-*Multibit* SS terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Ekstraksi DWT-DCT-*Multibit* SS.

Skema ekstraksi yang dilakukan dalam sistem ini hampir serupa dengan skema *embedding*. Perbedaannya hanya terdapat pada blok watermark extraction karena dalam skema ini akan dilakukan pengembalian watermark yang sudah diproses dengan serangan-serangan terhadap *watermarked* audio. Skema yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. *Watermarked* audio yang telah dilakukan serangan akan diproses kembali dengan DWT, yang akan menghasilkan koefisien-koefisien tertentu dengan menggunakan persamaan (1). Dari persamaan tersebut akan didapatkan kembali *detailed coefficient* dan *approximate coefficient*.
2. Dalam skema penyisipan menggunakan sistem DWT-DCT-*Multibit* SS, watermark telah disisipkan di frekuensi tinggi. Oleh karena itu, kita akan melakukan pengolahan *watermarked* audio di frekuensi tinggi untuk dilakukan pengecekan keutuhan dari watermark yang telah disisipkan.
3. *Watermarked* audio dilakukan proses DCT untuk mendapatkan koefisien yang cocok dengan *watermarked* audio dalam domain frekuensi.
4. Pada pembuatan *PN Sequences*, dilakukan sama dengan proses (2) dari P1 yang didapat dari (1).
5. Dengan menggunakan *one-to-one mapping* antara *PN Sequences* dengan *sequences watermarked* audio hasil DCT, maka dapat diekstraksi watermark yang telah disisipkan.
6. Karena watermark yang disisipkan merupakan citra biner, maka akan dilakukan konversi dari 1-D matriks, yang berupa hasil dari ekstraksi, menjadi 2-D matriks yang berupa hasil akhir image tersebut.

3. Parameter Kinerja

Pada metode DWT, transformasi DCT, dan *multibit spread spectrum*, diharapkan mendapat hasil yang baik dengan meninjau pada nilai $SNR \geq 20\text{dB}$, *Bit Error Rate* (BER) mendekati 0, *Objective Different Grade* (ODG) ≥ -2 , *Mean Opinion Score* (MOS) ≥ 3 , dan kapasitas yang tinggi. Selain hal tersebut, diharapkan metode yang diusulkan memiliki ketahanan pada serangan LPF, kompresi MP3, dan *resampling*.

3.1. Persamaan

3.1.1. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan metode yang digunakan untuk menentukan perbandingan antara sinyal audio watermark dengan *noise*. Jika SNR yang didapatkan kecil, maka informasi atau watermark yang telah disisipkan dalam data audio akan semakin jelas. Sedangkan jika didapatkan SNR yang besar maka kualitas audio watermark akan semakin bagus dikarenakan informasi atau watermark yang disisipkan akan semakin sulit dideteksi keadaannya. Untuk menentukan nilai SNR digunakan rumus berikut [3].

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=0}^{N-1} w^2(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} ((\hat{w}(n) - w(n))^2)} \tag{7}$$

dimana $w(n)$ merupakan audio asli dan $\hat{w}(n)$ merupakan audio yang telah diberi watermark. Hasil SNR berupa desibel (dB), dan menurut [13] kualitas audio yang baik memiliki nilai SNR lebih dari 20 dB.

3.1.2. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate merupakan sebuah metode untuk mengukur performansi sistem dari audio watermark dengan cara membandingkan bit-bit yang dikirim atau bit-bit sebelum dilakukan penyerangan, dengan bit-bit yang diterima atau setelah dilakukan serangan. Perhitungan untuk menghitung BER menggunakan rumus berikut.

$$BER = \frac{\text{jumlah bit berbeda}}{\text{jumlah bit total}} \times 100\% \tag{8}$$

dimana jumlah bit berbeda merupakan perbandingan banyaknya bit yang berbeda antara penerima dan pengirim. Sedangkan jumlah bit total merupakan banyaknya bit dari audio watermark. Semakin sedikitnya jumlah bit berbeda, maka semakin kecil BER yang didapat. Semakin kecil BER yang didapat maka audio watermark masih terjaga dengan baik [3].

3.1.3. Objective Different Grade (ODG)

Objective Different Grade (ODG) merupakan parameter penilaian yang telah ditentukan berdasarkan ITU-R (*International Telecommunication Union Radio-communication Sector*) BS. 1387-1. Metode ITU-R BS. 1387-1 ini bertujuan untuk mengukur kualitas *perceptible* dari suatu audio digital. Nilai-nilai ODG dirumuskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Objective Different Grade (ODG).

ODG	Nilai ITU-R	Kualitas Audio	Imperceptibility dari Audio watermark
0	5.0	Sangat Baik	Imperceptible
-1	4.0	Baik	Imperceptible tetapi mengganggu
-2	3.0	Cukup	Sedikit mengganggu
-3	2.0	Buruk	Mengganggu
-4	1.0	Sangat buruk	Sangat Mengganggu

3.1.4. Subjective Different Grade (SDG)

SDG merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas dari *imperceptibility* dari sebuah *watermarked* audio. Perbandingan dilakukan dengan cara membandingkan perbedaan suara atau audio dari *watermarked* audio dengan audio asli yang belum disisipkan watermark. *Subjective* yang dimaksudkan disini adalah kemampuan masing-masing orang untuk menentukan *imperceptibility* berbeda-beda. Penilaian secara SDG disebut sebagai *Mean Opinion Score* (MOS) direpresentasikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Subjective Different Grade (SDG).

MOS	Kualitas Audio	Imperceptibility dari Audio watermark
5	Sangat Baik	Imperceptible
4	Baik	Imperceptible tetapi mengganggu
3	Cukup	Sedikit mengganggu
2	Buruk	Mengganggu
1	Sangat buruk	Sangat Mengganggu

3.1.5. Capacity (C)

Kapasitas merupakan suatu parameter yang digunakan untuk menentukan banyaknya bit watermark yang dapat disisipkan ke dalam sebuah audio [3],[11]. Semakin besar kapasitas yang didapat, maka semakin banyak bit-bit watermark yang dapat disisipkan ke audio watermark. Nilai kapasitas dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$C = \frac{\text{panjang bit watermark}}{\text{panjang host audio}} \times fs \quad (3.3)$$

dimana nilai kapasitas atau C memiliki satuan *bit per sample* (bps).

4. Kesimpulan

Secara garis besar dari metode yang diusulkan terdapat 3 tahap yakni, proses penyisipan (*embedding*), proses penyerangan, proses ekstraksi (*extraction*). Hasil audio *watermarking* sebelum dan setelah penyerangan dibandingkan dengan audio *original* agar dapat diketahui kualitas audio yang dihasilkan. Kualitas audio yang diharapkan adalah SNR ≥ 20 dB, BER mendekati 0, ODG ≥ -2 , MOS ≥ 3 , dan kapasitas yang tinggi.

Referensi

- [1] N. Nahrowi. (2015). Plagiat dan Pembajakan Karya Cipta dalam Hak Kekayaan Intelektual. *SALAM: Jurnal Sosial Dan Budaya Syar'i*, 1(2). <https://doi.org/10.15408/sjsbs.v1i2.1541>
- [2] Peraturan Perundang-undangan Terkait Hak Cipta - Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual. (n.d.). Retrieved April 7, 2019, from <http://www.dgip.go.id/peraturan-perundang-undangan-terkait-hak-cipta>
- [3] Y. Lin, W. H. Lin. (2015). Audio watermark: A comprehensive foundation using MATLAB. In *Audio Watermark: A Comprehensive Foundation Using MATLAB*.
- [4] L. Robert, T. Shanmugapriya. A Study on Digital Watermarking Techniques, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol. 1, No. 2, May 2009
- [5] H. Harahap, G. Budiman, L. Novamizanti. (2017). Implementasi Teknik Watermarking menggunakan FFT dan Spread Spectrum Watermark pada Data Audio Digital. *Jurnal Elkomika*, 4(1).
- [6] Xiang, Y., Natgunanathan, I., Rong, Y., & Guo, S. (2015). Spread spectrum-based high embedding capacity watermarking method for audio signals. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 23(12), 2228–2237.
- [7] M. Fallahpoure and D. Megías, “DWT-based high capacity audio Watermarking,” *IEICE Trans. Fundam. Electron. Commun. Comput. Sci.*, vol. E93–A, no. 1, pp. 331–335, 2010.
- [8] N. Baranwal and K. Datta, “Comparative study of spread spectrum based audio watermarking techniques,” *Int. Conf. Recent Trends Inf. Technol. ICRTIT 2011*, pp. 896–900, 2011.
- [9] P. Artameeyanant, “Wavelet audio watermark robust against MPEG compression,” in *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 2007, pp. 1414–1417
- [10] R. Hayati. (2014). “Simulasi Unjuk Kerja Discrete Wavelet Transform (DWT) Dan Discrete Cosine Transform (DCT) Untuk Pengolahan Sinyal RADAR di Daerah Yang Ber-Noise Tinggi”. (1), 32–43.
- [11] I. Cox, M. Miller, and J. Bloom, “*Digital watermarking principles and practice*,” *The Morgan Kaufman Series in Multimedia and Information Systems*, 2001
- [12] M. H. Hayes. (1999). Schaum’s Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing. *Digital Signal Processing*, 447.
- [13] M. Zhao, J. S. Pan, S. T. Chen. (2015). *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*. 2015 ISSN (Vol. 6).
- [14] L. Novamizanti, G. Budiman, and B. A. Wibowo, “Optimasi Sistem Penyembunyian Data pada Audio menggunakan Sub-band Stasioner dan Manipulasi Rata-rata Statistik,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron*, 2018.