

Audio Watermarking Berbasiskan DWT-DCT-SVD-CPT Menggunakan QIM dan SS

Audio Watermarking Based on DWT-DCT-SVD-CPT Using QIM and SS

Rani Fersari Damanik¹, Rara Ardhia Pramesthi², Gelar Budiman³, Sofia Saidah⁴

^{1,2,3,4}Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Telkom University
Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia, (022) 7564108
rfersari@gmail.com^{1*}, rarardiap@gmail.com², gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id³,
sofiasaidah@telkomuniversity.ac.id⁴

Abstrak – Audio watermarking merupakan teknik penyisipan informasi (watermark) ke dalam host audio. Pada makalah ini, dirancang sistem audio watermarking menggunakan metode Quantization Index Modulation (QIM) dan Spread Spectrum (SS) berbasis Discrete Wavelet Transform (DWT), Discrete Cosine Transform (DCT), Singular Value Decomposition (SVD), dan Cartesian-Polar Transform (CPT). Tahap pertama, host audio akan didekomposisi menggunakan DWT untuk menentukan sub-band frekuensi yang akan digunakan. Kemudian, sub-band frekuensi yang telah dipilih dalam domain waktu ditransformasi menjadi domain frekuensi menggunakan DCT. Selanjutnya, sinyal akan didekomposisi menjadi tiga buah matriks yaitu matriks U , V , S menggunakan SVD. Matriks S dipilih untuk ditransformasikan dari koordinat kartesian menjadi koordinat polar menggunakan CPT. Penyisipan watermark menggunakan metode QIM akan dilakukan pada sub-band frekuensi tengah, sedangkan pada sub-band frekuensi tinggi akan dilakukan penyisipan watermark menggunakan SS. Hasil yang diharapkan dari perancangan audio watermarking ini adalah sistem yang memiliki ketahanan (robustness) terhadap serangan dan imperceptible berdasarkan nilai parameter SNR, BER dan ODG.

Kata Kunci: Discrete Wavelet Transform (DWT), Discrete Cosine Transform (DCT), Singular Value Decomposition (SVD), Cartesian-Polar Transform (CPT), Quantization Index Modulation (QIM), Spread Spectrum (SS).

Abstract – Audio watermarking is a technique for inserting information (watermark) into an audio host. In this paper, an audio watermarking system will be designed using Quantization Index Modulation (QIM) and Spread Spectrum (SS) methods based on Discrete Wavelet Transform (DWT), Discrete Cosine Transform (DCT), Singular Value Decomposition (SVD), and Cartesian-Polar Transform (CPT). In the first stage, the audio host will be decomposed using DWT to determine the frequency sub-band used. Then, the frequency sub-band that has been selected in the time domain is transformed into a frequency domain using DCT. Furthermore, the signal will be decomposed into three matrices, namely U , V , S matrices using SVD. The S matrix is chosen to be transformed from Cartesian coordinates into polar coordinates using CPT. Watermark insertion using the QIM method will be carried out in the middle-frequency sub-band, while in the high-frequency sub-band will be done watermark insertion using SS. The expected outcome of this audio watermarking design is a system that has robustness against attacks and imperceptible based on SNR, BER and ODG parameter values.

Keywords: *Discrete Wavelet Transform (DWT), Discrete Cosine Transform (DCT), Singular Value Decomposition (SVD), Cartesian-Polar Transform (CPT), Quantization Index Modulation (QIM), Spread Spectrum (SS).*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dan alat komunikasi yang pesat, mengakibatkan setiap orang mudah memperoleh dan menyebarkan informasi atau data. Data digital seperti citra, video dan audio merupakan aset komersial yang harus dikendalikan dan dilindungi. Kemudahan dalam mendistribusikan data digital mengakibatkan terjadinya penyalahgunaan data, salah satunya adalah pelanggaran hak cipta atau pemalsuan kepemilikan. Hak cipta memiliki hak eksklusif di dalamnya yaitu hak yang diperuntukkan bagi pemilik sehingga tidak ada orang lain yang boleh memanfaatkan hak tersebut tanpa izin dari pemiliknya. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk melindungi karya hak cipta adalah menggunakan teknik digital *watermarking*. Audio *watermarking* merupakan teknik penyisipan *watermark* yang berisi informasi kedalam *host* audio [1]. *Watermarking* dilakukan sedemikian sehingga tidak merusak kualitas audio. Kriteria yang harus dipenuhi oleh sistem audio *watermarking* yang baik diantaranya adalah [2] [3]:

1. Ketahanan (*Robustness*) sistem

Host audio yang telah disisipi *watermark* harus tahan terhadap berbagai serangan atau perusakan hingga tahap tertentu. Jenis serangan yang dapat digunakan diantaranya *filtering* sinyal, *resampling*, *Linear Speed Change*, *Equalizer*, *Time Scale Modification (TSM)*, *Echo*, dan kompresi MP3.

2. *Imperceptibility*

Data yang diberi *watermark* harus terdengar sama dengan data orisinal sehingga indera manusia tidak mengetahui adanya proses *watermarking*.

3. Kapasitas *watermark*

Data *watermark* yang disisipkan pada *host* audio harus memiliki kapasitas besar dan ukuran file *watermark* setelah di ekstraksi harus sama dengan ukuran *watermark* asli.

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, menjadi dasar referensi untuk melakukan penelitian ini. Pada penelitian [4], audio stereo *watermarking* menggunakan *hybrid* QIM dan dilakukan analisis kinerja audio *watermarking*. Berdasarkan nilai BER dan ODG sistem tahan terhadap serangan dan kualitas audio *watermarked* menyerupai audio asli. Pada penelitian [5] audio stereo *watermarking* menggunakan teknik gabungan DCT-QR-QIM. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *imperceptibility* audio *watermarked* berkualitas baik dan tahan terhadap serangan seperti *filtering*, *resampling*, LSC, dan MP3 *Compression* dengan *rate* diatas 64 kbps. Pada penelitian [6], dilakukan analisis perbandingan antara sistem audio *watermarking* menggunakan CPT dan *sync* dan tanpa CPT dan *sync*. Hasil yang diperoleh menunjukkan kualitas audio *watermarking* dengan menggunakan CPT dan *sync* lebih baik. Hal tersebut berdasarkan nilai SNR hasil simulasi. Pada penelitian [7] menggunakan metode FFT dan SS kemudian diberikan serangan untuk mengetahui kualitas kinerja audio *watermarking*. Jenis serangan sinyal yang diberikan antara lain *filtering*, kompresi, *resampling*, dan penambahan *noise*. Sistem audio *watermarking* bersifat *imperceptible*, hal ini berdasarkan nilai parameter SNR diatas 20 dB dan BER dibawah 1%.

Makalah ini mengusulkan teknik audio *watermarking* menggunakan transformasi DWT-DCT-SVD-CPT dengan QIM dan dan SS. Secara umum, audio *watermarking* dalam domain waktu lebih mudah diimplementasikan dan membutuhkan sedikit sumber daya komputasi, namun lebih rentan terhadap serangan sinyal seperti *filtering* dan kompresi. Transformasi DWT akan mendekomposisi sinyal *host* audio menjadi beberapa *sub-band* sehingga dapat ditentukan *sub-band* frekuensi yang tepat untuk penyisipan *watermark*. Dalam penelitian ini, *watermark* akan disisipkan pada frekuensi tengah dan tinggi. Sinyal frekuensi tengah ditransformasi dari domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan DCT sehingga lebih tahan terhadap serangan. Kemudian, sinyal akan didekomposisi menjadi tiga buah matriks yaitu U , S , V menggunakan SVD. Matriks S merupakan matriks diagonal yang elemennya berisi nilai eigen dan akan

digunakan untuk transformasi selanjutnya. Metode CPT merupakan proses transformasi dari sistem koordinat kartesian menjadi koordinat polar. Penyisipan *watermark* menggunakan QIM dilakukan pada *sub-band* frekuensi tengah, sedangkan pada *sub-band* frekuensi tinggi penyisipan *watermark* menggunakan SS. QIM digunakan sebagai metode penyisipan karena dapat meningkatkan *robustness* sistem, tahan terhadap berbagai serangan seperti WGN, *requantization*, *echo*, dan *filtering* [2].

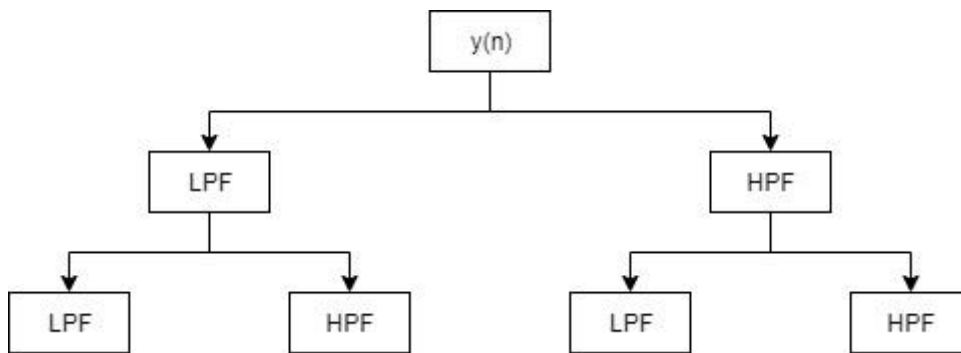
Penyusunan makalah ini terdiri dari : bagian 1 menjelaskan pendahuluan dan latar belakang masalah. Bagian 2 menjelaskan tentang metode penelitian meliputi proses *embedding* dan *ekstraksi*. Bagian 3 menjelaskan hasil penelitian dan analisis. Bagian 4 memberikan kesimpulan penelitian.

2. Metode

2.1. Metode Penelitian

2.1.1 Discrete Wavelet Transform

Discrete Wavelet Transform (DWT) merupakan proses dekomposisi sinyal sehingga menghasilkan koefisien *approximate* pada frekuensi rendah dan koefisien detail pada frekuensi tinggi [9]. Dekomposisi pada level pertama menghasilkan sinyal *sub-band* frekuensi rendah (LL) dan *sub-band* frekuensi tinggi (HH). Dekomposisi level dua menghasilkan frekuensi LL, LH, HL, dan HH. Proses dekomposisi sinyal ditunjukkan gambar 1.



Gambar 1. Dekomposisi level 2 DWT.

2.1.2 Discrete Cosine Transform

Metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. DCT hanya memperhitungkan nilai *real* dari hasil transformasinya. Transformasi DCT didefinisikan sebagai berikut [9]:

$$Y(k) = x(k) \sum_{n=0}^{N-1} y(n) \cos\left(\frac{\pi(2n-1)(k-1)}{2N}\right), k = 0,1,2, \dots, N - 1 \tag{1}$$

$$x(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} & k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & k \neq 0 \end{cases} \tag{2}$$

Dimana, $x(k)$ merupakan sinyal audio asli dalam domain waktu, $Y(k)$ merupakan koefisien DCT dan N menunjukkan jumlah sampel. *Inverse Discrete Cosine Transform* (IDCT) digunakan untuk merekonstruksi kembali koefisien DCT. Persamaan matematis IDCT dituliskan sebagai berikut [10]:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) Y(k) \cos\left(\frac{\pi(2n-1)(k-1)}{2N}\right) \tag{3}$$

2.1.3 Singular Value Decomposition

Singular Value Decomposition (SVD) digunakan untuk menguraikan *host* audio menjadi tiga komponen matriks yaitu matriks U , V , dan S [9].

$$D = USV^T \quad (4)$$

Dimana, D adalah sinyal input, Matriks U dan V merupakan matriks singular sedangkan S merupakan matriks diagonal yang memuat elemen nilai eigen [8]. Matriks U dan V akan diteruskan ke proses SVD rekonstruksi, sedangkan matriks S diteruskan ke proses CPT.

2.1.4 Cartesian-Polar Transform

Cartesian-Polar Transform (CPT) merupakan proses transformasi dari koordinat kartesian menjadi koordinat polar. Sistem koordinat polar (r, θ) , dimana r menunjukkan jarak dari suatu titik yang telah ditetapkan dan θ melambangkan sudut. Untuk mengubah koordinat kartesian menjadi koordinat polar dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [2]:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (5)$$

Dimana, x dan y adalah titik dari sistem koordinat kartesian. Transformasi dari koordinat polar menjadi koordinat kartesian dapat menggunakan formulasi sebagai berikut :

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta \quad (6)$$

2.1.5 Quantization Index Modulation

Quantization Index Modulation (QIM) merupakan metode penyisipan *watermark* yang dapat disisipkan pada domain waktu dan frekuensi. QIM digunakan untuk menyisipkan *watermark* pada frekuensi rendah karena lebih tahan terhadap serangan noise sehingga menghasilkan *robustness* yang baik. Berikut ini persamaan matematis penyisipan *watermark* menggunakan QIM [5] [2]:

$$F'(0) = \begin{cases} A_k, & \text{jika } w = 1 \text{ dan } \arg \min |F(0) - A_k| \\ B_k, & \text{jika } w = 0 \text{ dan } \arg \min |F(0) - B_k| \end{cases} \quad (7)$$

Dimana, nilai A_k dan B_k didefinisikan sebagai berikut :

$$A_k = \left(2k + \frac{1}{2}\right)\Delta; B_k = \left(2k - \frac{1}{2}\right)\Delta; k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (8)$$

Proses Ekstraksi menggunakan persamaan :

$$\tilde{V}(k) = \text{mod} \left(\text{ceil} \left(\frac{F'(0)}{\Delta} \right), 2 \right) \quad (9)$$

$$\Delta = \frac{1}{2^{(nbit-1)}} \quad (10)$$

Dimana, Δ menunjukkan ukuran step kuantisasi, $nbit$ merupakan jumlah nit kuantisasi pada QIM, $F(0)$ sampel *host* audio sebelum kuantisasi dan $F'(0)$ sampel *host* audio setelah disisipkan.

2.1.6 Spread Spectrum

Spread Spectrum (SS) merupakan metode penyisipan *watermark* dimana *watermark* disebar diseluruh spektrum frekuensi *host* yang tersedia. Keuntungan penggunaan SS pada audio *watermarking* diantaranya pengujian *watermark* tidak memerlukan sinyal *host* asli dan *watermark* tahan terhadap serangan yang dimodelkan sebagai *additive* atau *multiplicative noise*. Kerugiannya meliputi sinyal *watermarked* harus disinkronisasi sehingga meningkatkan kompleksitas deteksi dan *delay* [11].

SS menggunakan *pseudo-noise code* yang diperoleh dari kunci dan kode acak. *Pseudo-noise code* sebagai modulator bentuk gelombang untuk menyebarkan energi sinyal dalam sebuah jalur komunikasi (*bandwith*). *Watermarked* audio dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$Y = X + a * w \quad (11)$$

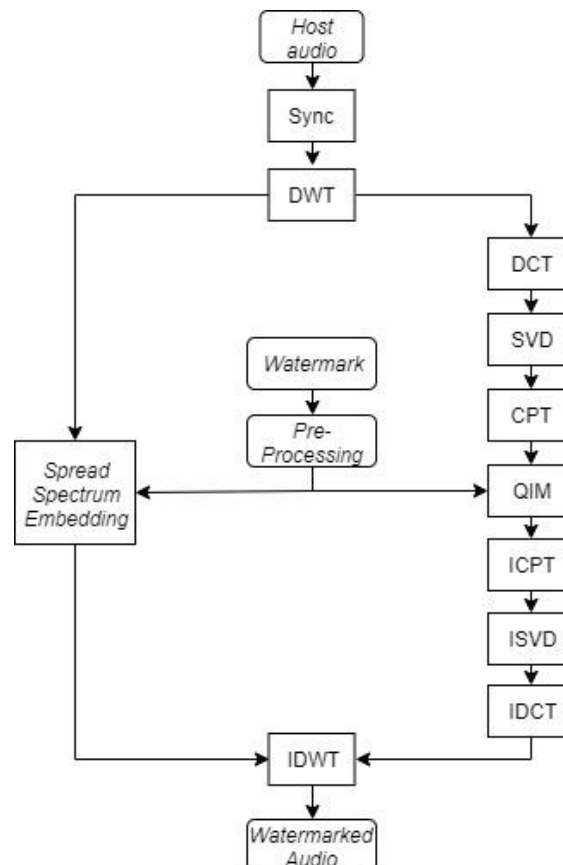
Dimana, Y merupakan *watermarked* audio, X merupakan *host* audio ditambah dengan *watermark* yang telah diberi *gain*.

2.2. Metode Analisis Data

Perancangan sistem audio *watermarking* terdiri dari dua tahapan yaitu proses *embedding* (penyisipan) dan proses ekstraksi.

2.2.1 Proses *Embedding*

Embedding merupakan proses penyisipan *watermark* ke dalam audio *host*. Berikut ini merupakan langkah- langkah proses penyisipan.



Gambar 2. Proses penyisipan *watermark*.

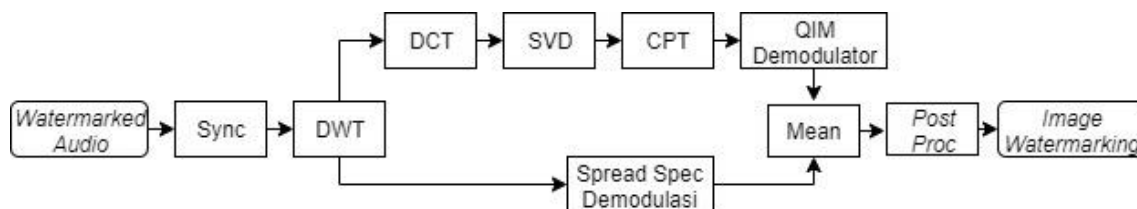
Tahap penyisipan:

1. Baca sinyal *host* audio.
2. Kemudian, dilakukan proses sinkronisasi untuk menentukan posisi awal bit *watermark* pada audio *watermarked*.
3. Dekomposisi *host* audio dengan 8N-level menggunakan DWT. *Watermark* disisipkan pada *sub-band* frekuensi tengah dan tinggi. Hasil yang diperoleh yaitu koefisien DWT $y(n)$.
4. *Sub-band* frekuensi tengah keluaran DWT akan melewati transformasi DCT. Transformasi DCT mengubah $y(n)$ ke $Y(k)$ menggunakan rumus (1). $Y(k)$ merupakan sinyal audio dalam domain frekuensi.
5. Dekomposisi *sub-band* frekuensi keluaran DCT menjadi 3 buah matriks yaitu matriks U, V dan S menggunakan SVD. Proses dekomposisi menggunakan rumus (4). Setelah dilakukan dekomposisi, matriks U dan V akan diteruskan ke ISVD sedangkan matriks S akan di proses pada tahapan transformasi berikutnya.
6. Matriks S keluaran SVD akan diproses menggunakan CPT untuk mengubah koordinat kartesian menjadi koordinat polar menggunakan persamaan (5).

7. Ubah dimensi *watermark* dari dua dimensi menjadi satu dimensi pada tahap *pre-processing*.
8. Lakukan penyisipan *watermark* dengan metode QIM menggunakan persamaan (7). Keluaran proses ini adalah *sub-band* frekuensi tengah yang telah disisipi *watermark*.
9. Lakukan proses ICPT untuk mentransformasikan sinyal dari koordinat polar menjadi kartesian menggunakan persamaan (6).
10. Lakukan proses ISVD sehingga menghasilkan $Y(k)$.
11. Lakukan proses IDCT untuk mengubah $\hat{Y}(k)$ menjadi $\hat{y}(n)$ menggunakan persamaan (3).
12. Untuk *Sub-band* frekuensi tinggi keluaran DWT, penyisipan *watermark* menggunakan metode SS. Sebelum penyisipan dilakukan tahapan *pre-processing*.
13. Lakukan proses IDWT untuk menggabungkan kembali *sub-band* frekuensi sinyal audio sehingga diperoleh audio *watermarked*.

2.2.2 Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi merupakan tahap pengambilan data *watermark* yang disisipkan pada sinyal audio. Berikut ini merupakan langkah – langkah proses ekstraksi.



Gambar 3. Proses ekstraksi.

Tahap ekstraksi:

1. Baca sinyal audio *watermarked*.
2. Dekomposisi host audio N-level menggunakan DWT, sehingga diperoleh *sub-band* frekuensi penyisipan *watermark*.
3. Pada *sub-band* frekuensi tengah keluaran DWT, ubah audio *watermarked* $\hat{y}_w(n)$ menjadi $\hat{Y}_w(k)$ dalam domain frekuensi menggunakan DCT dengan persamaan (1).
4. Dekomposisi *sub-band* frekuensi keluaran DCT menjadi tiga buah matriks U, V dan S menggunakan SVD.
5. Selanjutnya matriks S akan diteruskan ke CPT untuk mengubah koordinat kartesian menjadi polar menggunakan persamaan (5).
6. Setelah diperoleh keluaran CPT, ekstraksi *watermark* menggunakan QIM demodulator dengan persamaan (9) dan (10).
7. Pada *sub-band* frekuensi tinggi keluaran DWT, ekstraksi *watermark* menggunakan SS. Sebelumnya dilakukan proses desinkronisasi untuk mengetahui posisi awal *watermark*.
8. Ubah citra *watermark* dari 1 dimensi menjadi 2 dimensi pada tahap *final processing*.
9. Hitung BER menggunakan persamaan (13).

3. Hasil dan Analisis

3.1. Parameter Pengujian

Pengujian kualitas audio *watermarked* dapat menggunakan parameter SNR, ODG, dan MOS. Sedangkan pengujian kualitas citra *watermark* menggunakan parameter BER. Ketahanan sistem dapat diuji dengan melakukan beberapa serangan seperti *filtering*, *resampling*, *noise*, kompresi MP3 dan echo.

3.1.1 Signal to Noise Ratio

SNR merupakan nilai perbandingan antara daya sinyal audio *watermarked* terhadap *noise*. Parameter SNR bertujuan untuk mengetahui kualitas *imperceptibility* audio *watermarking*. Semakin besar nilai SNR maka, keberadaan *watermark* pada sinyal audio tidak diketahui oleh indera manusia. Berikut rumus perhitungan SNR :

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_n [s_0(n)]^2}{\sum_n [s_w(n) - s_0(n)]^2} \quad (12)$$

Dimana:

n = panjang *host* audio

s_0 = sampel sinyal audio asli

s_w = sampel audio *watermarked*

3.1.2 Objective Different Grade

Skala ODG dimulai dari -4 sampai 0, semakin mendekati 0 maka kualitas audio *watermarked* semakin baik. Skala penilaian ODG ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Skala *objective different grade*.

ODG Scale	Kualitas Audio <i>Watermarked</i>	<i>Imperceptibility</i>
0	Sangat baik	Tidak terdengar
-1	Baik	Terdengar tetapi tidak mengganggu
-2	Cukup	Sedikit mengganggu
-3	Buruk	Mengganggu
-4	Sangat Buruk	Sangat mengganggu

3.1.3 Mean Opinion Scale

MOS merupakan parameter subjektif, digunakan untuk membandingkan sinyal audio sebelum dan sesudah disipi *watermark*. Skala penilaian MOS ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Skala *mean opinion scale*.

MOS Scale	Kualitas Audio <i>Watermarked</i>	Keterangan
1	Buruk	<i>Watermark</i> mengganggu dan audio tidak dapat didengarkan
2	Kurang	<i>Watermark</i> mengganggu tetapi audio masih bisa didengarkan.
3	Cukup	<i>Watermark</i> terasa dan sedikit mengganggu
4	Baik	<i>Watermark</i> terasa sedikit tetapi tidak mengganggu
5	Sangat Baik	<i>Watermark</i> tidak terasa

3.1.4 Bit Error Rate

BER merupakan perbandingan jumlah *watermark* setelah proses ekstraksi dengan *watermark* asli. BER bertujuan untuk mengetahui kualitas ketahanan *watermark* terhadap serangan yang diberikan. Nilai BER berada pada *range* 0 sampai 1. Semakin mendekati 0 maka jumlah bit error semakin sedikit. Berikut rumus perhitungan BER :

$$BER = \frac{\text{jumlah bit salah}}{\text{jumlah bit total}} \times 100\% \quad (13)$$

3.2. Hasil Pengujian

Pengukuran kualitas audio *watermarked* menggunakan parameter SNR, ODG, dan MOS dengan nilai SNR ≥ 20 dB, nilai ODG ≥ -1 dan MOS ≥ 4 . Kualitas *watermark* dapat menggunakan parameter BER, dengan nilai BER mendekati 0.

4. Kesimpulan

Dalam makalah ini, dilakukan perancangan audio *watermarking* menggunakan QIM, SS, transformasi DWT, DCT, SVD, dan CPT. Sistem tahan terhadap serangan dan *imperceptible* berdasarkan parameter SNR, BER, ODG, dan MOS.

Referensi

- [1] J. Bajpai and A. Kaur, "A literature survey - Various audio watermarking techniques and their challenges," *Proc. 2016 6th Int. Conf. - Cloud Syst. Big Data Eng. Conflu. 2016*, pp. 451–457, 2016.
- [2] G. Budiman, A. B. Suksmono, D. Danudirdjo, and S. Pawellang, "QIM-based audio watermarking with combined techniques of SWT-DST-QR-CPT using SS-based synchronization," *2018 6th Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2018*, vol. 0, no. c, pp. 286–292, 2018.
- [3] M. S. Islam and U. P. Chong, "A Digital Image Watermarking Algorithm Based on DWT DCT and SVD," *Int. J. Comput. Commun. Eng.*, vol. 3, no. 5, pp. 356–360, 2014.
- [4] R. F. Ashari, G. Budiman, and R. Y. N. Fuadah, "Audio Watermarking Stereo Dengan Sinkronisasi Berbasis Hybrid Swt-Fft-Svd Dan Qim," pp. 24–25, 2017.
- [5] R. D. RENDRAGRAHA, G. BUDIMAN, and I. SAFITRI, "QIM - Based Audio Watermarking with Combination Technique of DCT-QR-CPT," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 1, p. 112, 2019.
- [6] S. Pawellang, G. Budiman, and Azizah, "Perancangan dan Analisis Sinkronisasi pada Watermarking Studio Stereo Berbasis QIM dengan Teknik Gabungan SWT-DST-QR-CPT," *e-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 683–690, 2018.
- [7] H. HARAHA, G. BUDIMAN, and L. NOVAMIZANTI, "Implementasi Teknik Watermarking menggunakan FFT dan Spread Spectrum Watermark pada Data Audio Digital," *J. Elkomika*, vol. 4, no. 1, 2017.
- [8] Y. Bagariang, G. Budiman, and L. Novamizanti, "Analisa Dan Perancangan Compressive Sampling Dengan Sinkronisasi Pada Audio Watermarking Stereo Berbasis," 2017.
- [9] N. V. Lalitha, P. V. Prasad, and S. U. M. Rao, "Performance analysis of DCT and DWT audio watermarking based on SVD," *Proc. IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2016*, 2016.
- [10] G. Zeng and Z. Qiu, "Audio watermarking in DCT: Embedding strategy and algorithm," *Int. Conf. Signal Process. Proceedings, ICSP*, pp. 2193–2196, 2008.
- [11] Y. Xiang, I. Natgunanathan, Y. Rong, and S. Guo, "Spread spectrum-based high embedding capacity watermarking method for audio signals," *IEEE Trans. Audio, Speech Lang. Process.*, vol. 23, no. 12, pp. 2228–2237, 2015.