

# Perancangan Audio Watermarking Berbasis DWT-DCT-SVD-CPT1 Menggunakan Teknik Hybrid SMM dan QIM

## Design of Audio Watermarking Based On DWT-DCT-SVD-CPT1 Using SMM and QIM Hybrid Technique

Arlina Anwar<sup>1\*</sup>, Gelar Budiman<sup>2</sup>, Nur Ibrahim<sup>3</sup>

Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
Jalan Telekomunikasi Terusan Buahbatu Bandung 40257 Indonesia, (022) 7564108  
arlinaanwar@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1\*</sup>, gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,  
nuribrahim@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

**Abstrak** – Audio watermarking merupakan salah satu teknik penyisipan suatu data kedalam suatu sinyal audio untuk menghindari penyalahgunaan atau modifikasi informasi secara ilegal. Makalah ini menjelaskan perancangan audio watermarking berbasis Discrete Wavelet Transform (DWT), Discrete Cosinus Transform (DCT), Singular Value Decomposition (SVD), serta Cartesian Polat Transform (CPT) menggunakan teknik hybrid Quantization Index Modulation (QIM) dan Statistical Mean Manipulation (SMM). Transformasi DWT digunakan untuk memisahkan sinyal host audio berdasarkan subband frekuensinya, kemudian sinyal tersebut diubah menjadi domain frekuensi menggunakan DCT. Selanjutnya, SVD akan mendekomposisikan sinyal host audio berdasarkan amplitudanya, kemudian keluaran SVD ditransformasikan ke koordinat polar menggunakan CPT. Setelah itu, penyisipan watermark dilakukan menggunakan QIM pada subband frekuensi tengah dan SMM pada subband frekuensi rendah. Setelah seluruh proses dilakukan, audio watermarking menunjukkan hasil rata rata dari Single-to-Noise Ratio (SNR) 29.51658, Objective Different Grade (ODG) -3.436, Bit Error Rate (BER) 0.09, Capacity 5.3665, dan Mean Opinion Score (MOS) > 4.

**Kata Kunci:** Audio Watermarking, DWT, DCT, SVD, CPT, QIM, SMM.

**Abstract** – Audio watermarking is a technique for inserting data into an audio signal to avoid misuse or modification of information illegally. This paper explains the design of audio watermarking based on Discrete Wavelet Transform (DWT), Discrete Cosine Transform (DCT), Singular Value Decomposition (SVD), and Cartesian Polat Transform (CPT) using hybrid Quantization Index Modulation (QIM) and Statistical Mean Manipulation (SMM) techniques, and Cartesian Polat Transform (CPT) using Quantization Index Modulation (QIM) and Statistical Mean Manipulation (SMM) hybrid techniques. The DWT transform is used to separate the audio host signal based of its frequency subband, then the signal is converted to frequency domain using DCT. Furthermore, SVD will decompose the audio host signal based on its amplitude, then the output of SVD is transformed to polar coordinates using CPT. After that, the insertion of watermark is done by using QIM on the middle-frequency subband and SMM on the low-frequency subband. After all the process, the audio watermarking show the average result of Single-to-Noise Ratio (SNR) value 29.51658, Objective Different Grade (ODG) -3.436, Bit Error Rate (BER) 0.09, Capacity 5.3665, and Mean Opinion Score (MOS) > 4.

**Keywords:** Audio Watermarking, DWT, DCT, SVD, CPT, QIM, SMM.

## 1. Pendahuluan

Perkembangan zaman menjadikan informasi dapat diperoleh dengan sangat mudah. Akibat dari hal tersebut, informasi dapat diunduh secara ilegal oleh siapapun. Tidak semua informasi di internet menggunakan persetujuan dari hak milik untuk dilakukan proses pengunduhan. Informasi yang dapat diunduh secara bebas tersebut dikhawatirkan dapat disalahgunakan dan dimodifikasi tanpa seijin pemilik. Maka dari itu, dibutuhkan suatu penanda hak milik dengan cara memberi *watermark* pada informasi tersebut. *Watermarking* adalah penyisipan pesan sebagai informasi kepemilikan dalam suatu host data [1]. Adanya pesan yang dijadikan *watermark* akan membuat suatu informasi tidak dapat disalahgunakan oleh sembarang orang. Selain itu, *watermarking* memiliki beberapa klasifikasi yang harus dipenuhi, yaitu dari segi *perceptibility*, *robustness*, dan *reversible* [2]. Klasifikasi tersebut dijadikan perhitungan untuk menilai kualitas *watermarking* yang telah dirancang. Perhitungan untuk mengetahui kualitas hasil perancangan *watermarking*, dapat dilakukan dengan beberapa parameter penilaian [3], seperti *Bit Error Rate* (BER), *Single-to-Noise Ratio* (SNR), *Subjective Different Grade* (SDG), dan *Objective Different Grade* (ODG).

Beberapa waktu terakhir, penelitian dan perancangan *audio watermarking* terus dikembangkan. Pada penelitian [3] dan [4], perancangan *audio watermarking* dengan transformasi *Discrete Wavelet Transform* (DWT) yang dilakukan dinilai cukup efisien dan cukup kuat terhadap serangan pada saat terjadinya proses pengolahan sinyal. Pada perancangan tersebut, bit-bit *watermark* disisipkan pada koefisien DWT yang didapat dari hasil transformasi 2-level. Selain itu, menurut sumber [5] penggunaan transformasi DWT pada proses perancangan *audio watermarking* dianggap cukup baik, karena keluaran dari transformasi tersebut mempunyai rasio kompresi yang cukup tinggi. Pada makalah [6] dilakukan perancangan *audio watermarking* dengan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) yang menunjukkan bahwa transformasi tersebut lebih sederhana dan lebih mudah untuk diimplementasikan dalam waktu yang singkat dibandingkan transformasi DWT dan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Selain itu, transformasi DCT juga lebih tahan terhadap serangan, seperti kompresi. Akan tetapi, kelemahan transformasi DCT adalah susah untuk menyeimbangkan posisi penyisipan *watermark*. Pada sumber [7], untuk meningkatkan kualitas *audio watermarking* yang dirancang, maka dilakukan perancangan menggunakan beberapa metode gabungan DWT, DCT, dan *Singular Value Decomposition* (SVD) dan didapatkan hasil yang baik, yaitu *imperceptible* dan *robust*. Hal tersebut dibuktikan dengan pengukuran parameter *Single-to-Noise Ratio* (SNR) sebagai penilaian objektif dan tes pendengaran untuk memperkirakan nilai *Mean Opinion Score* (MOS) sebagai penilaian subjektif. Selain itu, kelebihan dari metode SVD, yaitu *watermark* yang disisipkan dapat dikembalikan tanpa merubah bentuk apapun meskipun mendapat serangan [8]. Metode penelitian *Cartesian Polar Transform* (CPT) yang dilakukan pada sumber [9], mampu mentransformasikan komponen matriks dari hasil dekomposisi untuk menghasilkan komponen magnitude dan komponen fasa yang digunakan untuk penyisipan agar hasil dari *audio watermarking* dapat tahan terhadap serangan. Berbeda dengan metode yang lainnya, menurut sumber [10], *Quantization Index Modulation* (QIM) sangat sensitif terhadap serangan berupa *noise* dan kompresi serta dekompresi. Selain itu, QIM juga dapat mudah dirusak apabila penyerang mengetahui koefisien yang digunakan saat penyisipan. Akan tetapi, QIM memiliki kelebihan, karena penyembunyian pada QIM sangat sering menggunakan domain waktu, sehingga *watermark* tidak rentan terhadap beberapa serangan lainnya, seperti *White Gaussian Noise* (WGN). Proses perancangan *audio watermarking* dapat dilakukan dengan metode lainnya, seperti pada makalah [11], teknik *Statistical Mean Manipulation* (SMM) mendapat hasil yang baik, karena *watermark* yang disisipkan kedalam sinyal *host* tersebut memiliki nilai rata-rata *Objective Different Grade* (ODG) = -3.758, SNR = 33.51112, *Bit Error Rate* (BER) = 0.141, dan MOS > 4.1. Dari nilai rata-rata tersebut dapat diartikan bahwa hasil perancangan *audio watermarking* yang telah dibuat tahan terhadap serangan dan *watermark* yang disisipkan tidak mudah diketahui oleh publik.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan *audio watermarking* menggunakan metode gabungan berupa DWT, DCT, SVD, CPT1 dengan teknik *hybrid* SMM dan QIM. Perancangan yang akan dilakukan menggunakan *watermark* berupa citra biner yang

akan disisipkan kedalam sinyal host berupa audio. Penggunaan transformasi DWT pada perancangan ini adalah untuk memisahkan audio berdasarkan *subband* frekuensi yang berbeda, yaitu *subband* frekuensi rendah dan tengah. Setelah audio dipisah menjadi dua *subband* frekuensi, maka sinyal dengan *subband* frekuensi tengah diubah menjadi domain frekuensi menggunakan transformasi DCT. Lalu, keluaran transformasi DCT didekomposisi menggunakan SVD, sehingga menghasilkan tiga buah matriks yaitu matriks U, S, dan V. Hasil matriks S akan diambil untuk dilakukan transformasi ke koordinat polar menggunakan CPT. Kemudian, proses penyisipan pada *subband* frekuensi rendah dilakukan menggunakan teknik SMM, sedangkan pada *subband* frekuensi tengah menggunakan teknik QIM.

Tujuan perancangan ini adalah untuk mencapai keluaran yang diharapkan dapat menghasilkan *watermark* yang tahan terhadap serangan dan memiliki kualitas *watermark* yang tetap baik setelah dilakukan proses ekstraksi. Selain itu, diharapkan keluaran yang didapat mencapai nilai BER dibawah  $10^{-4}$ , SNR lebih dari 20dB, ODG mendekati 0, dan SDG mendekati 5. Perhitungan tersebut dilakukan setelah *watermark* diuji dengan berbagai serangan.

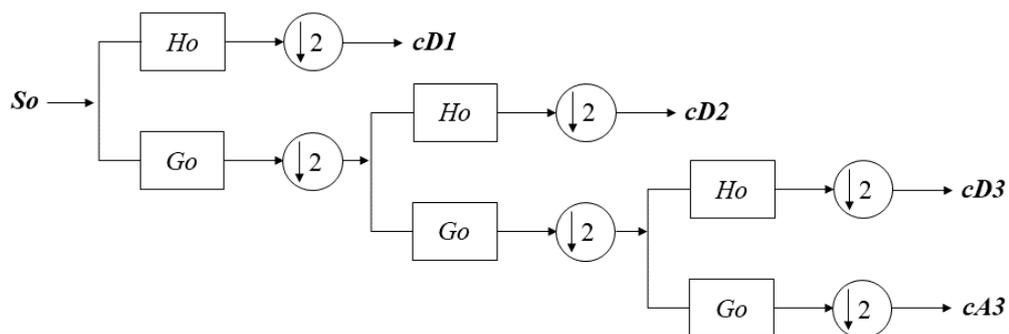
## 2. Metode

Pada bagian ini akan dijelaskan metode perancangan audio watermarking yang akan dilakukan, diantaranya metode penelitian dan metode analisis data.

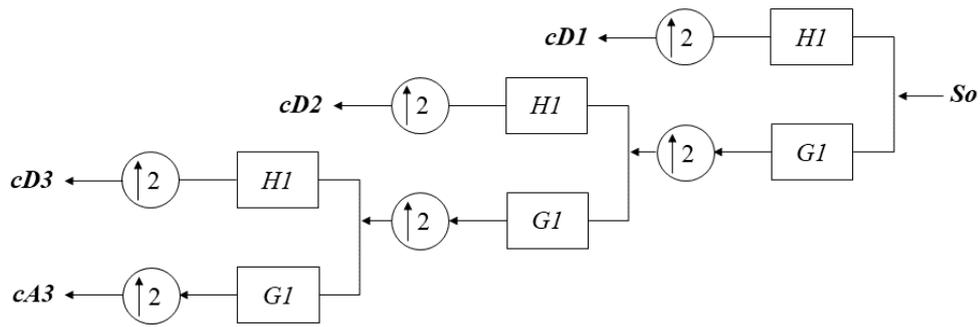
### 2.1. Metode Penelitian

#### 2.1.1. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Pada DWT, *watermark* disisipkan dalam koefisien *wavelet* pada sinyal host audio. Menurut [2], dibandingkan dengan *Fast Fourier Transform* (FFT), DWT lebih cocok untuk menghasilkan penampilan frekuensi pada domain waktu, seperti sinyal audio. Pada DWT, resolusi frekuensi yang baik terdapat pada frekuensi rendah, sedangkan resolusi waktu yang baik terdapat pada frekuensi tinggi. Saat dekomposisi, sinyal input pertama didekomposisi menjadi dua bagian, yaitu frekuensi tinggi dari *High Pass Filter* (HPF) dan frekuensi rendah dan *Low Pass Filter* (LPF). Kemudian, bagian frekuensi rendah akan didekomposisi kembali dan dibagi menjadi dua bagian seperti proses sebelumnya, yaitu bagian frekuensi rendah dan tinggi. Proses tersebut akan terus diulang hingga hasil yang diinginkan tercapai. Menurut [2], berikut adalah skema dekomposisi dan rekonstruksi DWT :



Gambar 2.1 Tiga level dekomposisi DWT



Gambar 2.2 Tiga level rekontruksi DWT

Persamaan DWT dapat didefinisikan sebagai berikut [10] :

$$w(j, k) = \sum_j \sum_k x(k) 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}n - k) \tag{1}$$

dimana  $\varphi$  adalah *mother wavelet*. *Mother wavelet* merupakan salah satu jenis *wavelet* dalam fungsi waktu.

**2.1.2. Discrete Cosine Transform (DCT)**

DCT merupakan transformasi yang dapat digunakan dalam proses perancangan *audio watermarking*. Menurut [12], DCT berfungsi untuk membagi sinyal audio pada penjumlahan fungsi *cosinus* dalam fungsi frekuensi yang berbeda-beda. Pada DCT, suatu data dapat diubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi DCT dapat digunakan untuk menurunkan distorsi dari sinyal *host audio* dalam proses perancangan *audio watermarking*. Transformasi DCT dapat didefinisikan sebagai berikut [12]:

$$C(m) = a(m) \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cos \left[ \frac{\pi(2n + 1)m}{2N} \right] \tag{2}$$

dimana  $C(m)$  merupakan koefisien DCT yang berasal dari transformasi sinyal dengan nilai  $m = 0,1,2 \dots , N - 1$ ,  $N$  merupakan jumlah *sample*, dan  $f(n)$  merupakan sinyal *host audio*. Hasil dari transformasi DCT dapat dikembalikan ke bentuk semula menggunakan IDCT dengan persamaan berikut [12] :

$$f(n) = \sum_{m=0}^{N-1} a(m) C(m) \cos \left[ \frac{\pi(2m + 1)n}{2N} \right] \tag{3}$$

Pada persamaan (2) dan (3), nilai  $m = 0,1,2, \dots , N - 1$ , maka nilai  $a(m)$  seperti berikut :

$$a(m) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & \text{if } m = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{if } m \neq 0 \end{cases} \tag{4}$$

Kemampuan untuk mengkompresi sinyal ke koefisien, merupakan salah satu kriteria untuk membandingkan penampilan dari transformasi tersebut dan DCT memiliki kemampuan kompresi berikut. Transformasi ini dapat mengabaikan koefisien dari amplitude yang rendah tanpa mengurangi akurasi pada proses rekontruksi sinyal yang dilakukan [12].

### 2.1.3. Singular Value Decomposition (SVD)

SVD merupakan salah satu proses dekomposisi matriks dalam beberapa aplikasi yang dapat digunakan dalam perancangan *audio watermarking*. Pada SVD seluruh koefisien diurutkan ulang sampai membentuk sebuah matriks, lalu hasil pada matrik tersebut dibagi menjadi tiga bagian sub-matriks. Salah satu diantara ketiga sub-matriks tersebut disebut *singular value matrix* atau *eigenvalue* yang akan digunakan untuk proses penyisipan *watermark*. Menurut [13], input data pada SVD dibagi menjadi tiga bagian matriks.

$$U * S * V^T = SVD(I) \quad (5)$$

dimana  $I$  merupakan sinyal masukan yang akan didekomposisi, dan  $U$  serta  $V$  merupakan *orthogonal matriks* yang dapat diartikan menjadi *left singular matriks*  $U$  serta *right singular matriks*  $V$ , sedangkan  $S$  merupakan matriks diagonal seperti berikut :

$$\begin{pmatrix} \rho_1 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \rho_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & \rho_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

### 2.1.4. Cartesian Polar Transform (CPT)

CPT merupakan transformasi dari sistem koordinat kartesian ke sistem koordinat polar. Sistem koordinat polar  $(r, \theta)$  [14], dimana  $r$  merupakan jarak dari titik awal ke titik yang dituju dan  $\theta$  merupakan sudut antara garis acuan. Transformasi koordinat kartesian ke koordinat polar diberikan dengan persamaan berikut [14] :

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \theta = \tan^{-1} \left( \frac{y}{x} \right) \quad (7)$$

dimana  $(x, y)$  adalah sebuah titik pada sistem koordinat kartesian. Persamaan koordinat polar terhadap koordinat kartesian memenuhi persamaan berikut [14]:

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta \quad (8)$$

### 2.1.5. Quantization Index Modulation (QIM)

QIM merupakan salah satu proses penyisipan *watermark* ke sinyal *host* pada frekuensi tengah. Menurut [15], QIM sering digunakan karena penyisipan watermark akan lebih mudah diatur. Akan tetapi, skema QIM tidak cukup baik untuk melawan beberapa serangan seperti kompresi dan *volumetric scaling*. Pada sumber [16], skema QIM dalam proses penyisipan watermark ke sinyal *host*, yaitu :

$$F'(0) = \begin{cases} A_k, & \text{if } w = 1 \text{ dan } \arg \min |F(0) - A_k| \\ B_k, & \text{if } w = 0 \text{ dan } \arg \min |F(0) - B_k| \end{cases} \quad (9)$$

$$A_k = \left( 2k + \frac{1}{2} \right) \Delta; B_k = \left( 2k - \frac{1}{2} \right); \text{ dengan } k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (10)$$

untuk proses ekstraksi digunakan persamaan berikut :

$$\tilde{V}(k) = \text{mod} \left( \text{ceil} \left( \frac{F'(0)}{\Delta} \right), 2 \right) \quad (11)$$

dimana :

$$\Delta = \frac{1}{2^{(nbit-1)}} \tag{12}$$

- $\Delta$  = ukuran *quantization step*
- nbit = bit kuantisasi pada QIM
- $F(0)$  = sample *host audio* sebelum dikuantisasi
- $F'(0)$  = sample *host audio* setelah dikuantisasi

**2.1.6. Statitiscal Mean Manipulation (SMM)**

SMM merupakan salah satu proses penyisipan bit sinkronisasi ke sinyal *host* yang dilakukan pada proses perancangan *watermarking*. Menurut sumber [17], pada teknik penyisipan SMM, data *watermark* disisipkan pada domain spektrum sinyal *host* dengan menghitung nilai rata-rata koefisien spektrum. Nilai rata-rata tersebut akan susah dipindahkan, sehingga kemungkinan *watermark* rusak lebih kecil. Teknik penyisipan SMM diberikan dengan persamaan berikut [18]:

$$X_w(n) \begin{cases} x(n) - \mu_x + \alpha \cdot w_i, & \text{jika } w_i = 1 \\ x(n) - \mu_x - \alpha \cdot w_i, & \text{jika } w_i = 0 \end{cases} \tag{13}$$

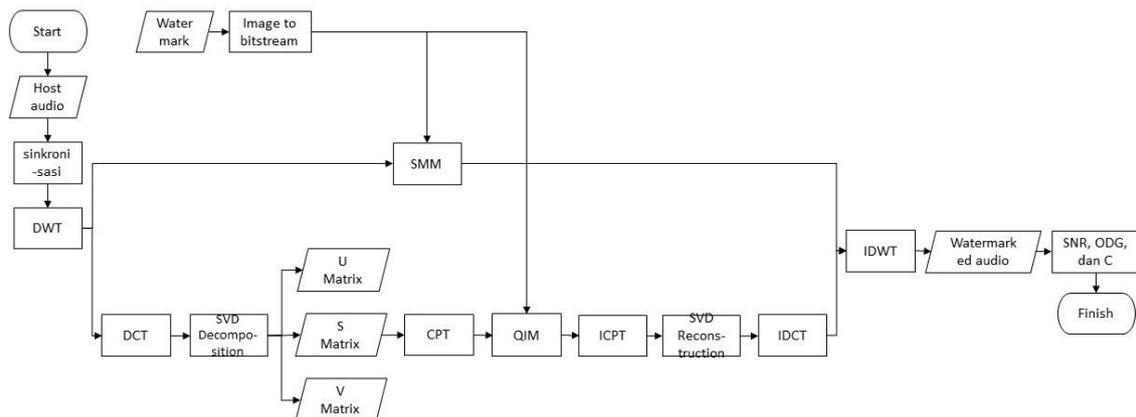
dimana  $x(n)$  adalah sinyal *host* dari audio,  $\mu_x$  adalah rata-rata dari sinyal  $x(n)$  per satu *frame*,  $\alpha$  adalah faktor modifikasi rata-rata pada SMM,  $w_i$  adalah *watermark bit sync*, dan  $X_w(n)$  adalah audio yang telah dilakukan proses *watermark*.

**2.2. Metode Analisis Data**

Metode analisis data yang dilakukan setelah proses perancangan audio *watermarking*, yaitu *Bit Error Rate* (BER), *Single to Noise Ratio* (SNR), *Objective Difference Grade* (ODG), dan *Subjective Different Grade* (SDG). Oleh karena itu, untuk mendapat hasil dari perhitungan tersebut dibutuhkan perancangan dengan proses *embedding* dan proses ekstraksi.

**2.2.1 Proses Embedding**

Proses *Embedding* merupakan proses yang dilakukan pada perancangan audio *watermarking* untuk menyisipkan sinyal *watermark* berupa citra biner ke sinyal *host* berupa audio.



Gambar 1. Diagram Blok *Embedding* Audio Watermarking

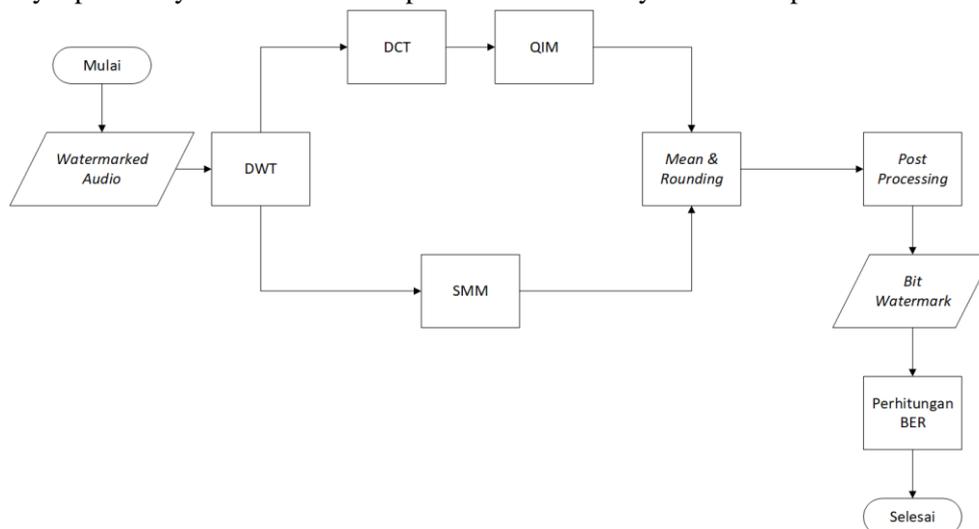
Berikut langkah-langkah proses *embedding* :

1. Membaca *file watermark* berupa citra biner.
2. Mengubah *watermark* berupa citra biner menjadi bentuk satu dimensi.
3. Membaca sinyal *host* berupa audio dalam bentuk matriks satu dimensi.

4. Memproses audio menggunakan DWT untuk memisahkan *host audio* berdasarkan frekuensi. Host audio akan dipisahkan menjadi frekuensi rendah dan frekuensi tengah. Frekuensi sinyal host yang dipisah masih dalam bentuk domain waktu. Dekomposisi pada DWT dilakukan sebanyak  $N$  level. Jumlah *subband* yang dihasilkan dapat dihitung dari  $2^N$ .
5. Pada *subband* sinyal frekuensi tengah, sinyal audio diubah dari domain waktu menjadi domain frekuensi dengan menggunakan transformasi DCT.
6. Membagi host audio berdasarkan amplituda yang signifikan dan tidak signifikan menggunakan SVD. Pembagian rentang nilai amplituda sesuai dengan persamaan (7).
7. Mengubah sinyal audio dari sistem koordinat kartesian ke sistem koordinat polar dengan CPT menggunakan persamaan (8) dan (9).
8. Menyisipkan *watermark* pada sinyal frekuensi tengah menggunakan metode QIM. Perhitungan dapat dilakukan menggunakan persamaan (10) dan (11). Keluaran berupa *subband* sinyal frekuensi tengah yang telah disisipkan *watermark*.
9. Mengembalikan sinyal host audio yang sebelumnya telah diubah ke sistem koordinat polar menjadi sistem koordinat kartesian menggunakan ICPT.
10. Mengembalikan matriks dari host audio ke bentuk semula yaitu satu dimensi menggunakan rekonstruksi SVD.
11. Mengembalikan sinyal host audio ke bentuk semula yaitu dalam domain waktu menggunakan transformasi IDCT.
12. Pada *subband* sinyal frekuensi rendah, *watermark* disisipkan menggunakan metode SMM. Proses penyisipan dilakukan dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (11). Keluaran berupa *subband* sinyal frekuensi rendah yang telah disisipkan *watermark*.
13. Menggabungkan audio yang telah disisipkan *watermark* menggunakan transformasi IDWT setelah *subband* sinyal frekuensi rendah dan tengah disisipkan *watermark* berupa citra biner.
14. Perhitungan nilai SNR, ODG, dan SDG pada audio ter-*watermark* untuk mengetahui kualitas audio ter-*watermark* yang telah dirancang.

**2.2.2 Proses Ekstraksi**

Proses Embedding merupakan proses yang dilakukan pada perancangan audio watermarking untuk menyisipkan sinyal *watermark* berupa citra biner ke sinyal host berupa audio.



Gambar 2. Diagram Blok Ekstraksi Audio Watermarking

Berikut langkah-langkah proses ekstraksi :

1. Membaca file audio ter-*watermark*.
2. Memisahkan *subband* frekuensi pada sinyal audio ter-*watermark* menggunakan transformasi DWT.
3. Mengubah audio ter-*watermark* dari domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan transformasi DCT pada *subband* sinyal frekuensi tengah.
4. Mendekuantisasi audio menggunakan QIM untuk audio ter-*watermark* pada *subband* sinyal frekuensi tengah dalam bentuk domain frekuensi. Hasil dekuantisasi berupa *watermark* pada *subband* frekuensi tengah.
5. Mendekuantisasi audio menggunakan SMM untuk *watermarked audio* pada sinyal frekuensi rendah dalam bentuk domain waktu. Hasil dekuantisasi pada SMM berupa *watermark* pada *subband* frekuensi rendah.
6. Menghitung *mean and rounding* pada *watermark* yang telah di dekuantisasi untuk mendapatkan nilai *bit watermark* satu dimensi.
7. Melakukan proses *post processing* untuk mengubah bit watermark yang telah di dekuantisasi dari satu dimensi menjadi dua dimensi.
8. Menghitung nilai BER dari *watermark* untuk mengetahui ketahanan *watermark* terhadap serangan.

### 3. Parameter Kinerja

Untuk memastikan hasil proses perancangan audio watermarking, maka perlu dilakukan sebuah parameter untuk evaluasi dari hasil proses perancangan audio watermarking. Menurut sumber [2], terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk evaluasi hasil perancangan tersebut diantaranya, yaitu :

#### 3.1 Bit Error Rate (BER)

*Bit Error Rate* (BER) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk penilaian hasil audio watermarking dalam segi *robustness*. Pentingnya menguji parameter BER adalah untuk mengetahui keutuhan *watermark*, yang telah disisipkan setelah menerima berbagai serangan. Menurut sumber [2], perhitungan BER diberikan dengan persamaan berikut :

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit error setelah ekstraksi}}{\text{Jumlah bit error sebelum ekstraksi}} \times 100\% \quad (14)$$

#### 3.2 Single to Noise Ratio (SNR)

*Single to Noise Ratio* (SNR) adalah satu parameter untuk mengukur kualitas audio secara objektif. Suatu audio dapat dinyatakan memiliki kualitas yang baik jika nilai SNR lebih dari 20 dB [18]. Menurut sumber [2], perhitungan SNR diberikan dengan persamaan berikut :

$$SNR(S_w, S_o) = 10 \log_{10} \frac{\sum_n [S_o(n)]^2}{\sum_n [S_w(n) - S_o(n)]^2} \quad (15)$$

dimana  $S_o(n)$  adalah sinyal host berupa audio dan  $S_w(n)$  adalah sinyal *watermarked* audio.

#### 3.3 Subjective Different Grade (SDG) dan Objective Different Grade (ODG)

Subjective Different Grade (SDG) dan Objective Different Grade (ODG) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk penilaian hasil audio watermarking dalam segi *perceptibility* [18]. Nilai ODG didapat dengan melakukan perhitungan pada saat proses sinyal berupa *Perceptual Evaluation of Audio Quality* (PEAQ) dengan rentang nilai dari -4 hingga 0. Sedangkan, nilai SDG diperoleh dari beberapa responden dengan membandingkan perubahan pada audio saat sebelum dan sesudah disisipi *watermark* dengan rentang nilai 0 hingga 5. Menurut sumber [2], berikut deskripsi tiap nilai baik pada SDG maupun ODG :

Tabel 1. Subjective Different Grade (SDG) dan Objective Different Grade (ODG)

ODG	SDG	Deskripsi
-4	1	Watermark sangat mengganggu
-3	2	Watermark mengganggu
-2	3	Watermark sedikit mengganggu
-1	4	Watermark terdengar, tidak mengganggu
0	5	Watermark tidak terdengar

#### 4. Kesimpulan

Dalam makalah ini, penulis mengusulkan perancangan audio watermarking berbasis DWT-DCT-SVD-CPT1 menggunakan teknik *hybrid* SMM dan QIM. Hasil dari perancangan tersebut diharapkan dapat memberikan nilai BER dibawah  $10^{-4}$ , SNR lebih dari 20dB, ODG mendekati 0, dan SDG mendekati 5. Perhitungan dilakukan setelah dilakukan proses *embedding* dan ekstraksi. Nilai tersebut akan membuktikan kualitas dari hasil proses perancangan audio watermarking yang dilakukan.

#### Referensi

- [1] A.Kanhe and A.Gnanasekaran, "Robust Image In Audio Watermarking Technique Based On DCT-SVD Transform," EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, p. 1, 2018.
- [2] Y.Lin and W. H. Abdulla, "Audio Watermark: A Comprehensive Foundation Using MATLAB," in Springer International Publishing Switzerland, 2015, p. 6.
- [3] K. N. Patel and D. B. Shah, "Robust Audio Watermarking using Improved DWT-SVD approach," International Journal of Computer Sciences and Engineering, 2018.
- [4] A. Al-Haj and A. Mohammad, "Digital Audio Watermarking Based on the Discrete Wavelete Transform and Singular Value Decomposition," European Journal of Scientific Research, vol. 39, pp. 6–21, 2010.
- [5] N. Tiwari and S., "Digital Watermarking Applications, Parameter Measures and Techniques," IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, vol. 17, no. 3, pp. 184–194, 2017.
- [6] J.Li and Q.Cao, "ADCT-Based Spatial Domain Digital Watermarking Algorithm," TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, vol.12, 2014
- [7] N. V. Lalitha, G. Suresh, and D. V. Sailaja, "Improved Audio Watermarking Using DWT-SVD," International Journal of Scientific and Engineering Research, 2011.
- [8] R. Kaur and H. Singh, "Image Watermarking In DCT, DWT, and Their Hybridization Using SVD : A Survey," International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJET), vol. 4, no. 4, 2014.
- [9] M. W. Fakhr, "Robust Watermarking Using Compressed Sensing Framework with Application to MP3 Audio," The International Journal of Multimedia and Its Applications (IJMA), vol. 4, no. 6, 2012.
- [10] G. Budiman, R. D. Rendragraha, and I. Safitri, "QIM - Bsed Audio Watermarking with Combination Technique of DCT-QR-CPT," ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, dan Teknik Elektronika, vol.7, no. 1, pp. 112–125, 2019.
- [11] Y.Lin, W. Abdulla, "Technical report soe-650," School of Engineering, The University of Auckland, Tech. Rep., 2007.
- [12] G. Budiman, A. B. Suksmo, D. Danudirjo, and S. Pawellang, "QIM based Audio Watermarking with Combined Techniques of SWT-DST-QR-CPT Using SS-

- baseSynchronization,”in 2018 6<sup>th</sup> International Conference on Information and Communication Technology. ICoICT 2018, 2018, pp. 286–292.
- [13] T. Kalker, I. J. Cox, and Y. M. Ro, Digital Watermarking. publisher, 2004.
- [14] S. M. Deokar and B. Dhaigude, “Blind audio watermarking based on discrete wavelet and cosine transform,”in 2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control. ICIC 2015, 2015, pp. 264–268.
- [15] K. R. Kakkirala, S. R. Chalamala, and B. M. R. G, “DWT-SVD based blind audio watermarking scheme for copyright protection,”in ICALIP2014- 2014 International Conference on Audio, Language and Image Processing, 2015, pp. 180–183.
- [16] B. D. Reddy and N. V. Talitha, “Audio Watermarking Technique to Resist Desynchronization Attacks,” in 2015 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, 2016, pp. 1052–1056.
- [17] M.j.Hwang,J.Lee,M.Lee,andH.-G.Kang,“SVD-Based Adaptive QIM Watermarking on Stereo Audio Signals,” IEEE Transactions on Multimedia, no. 1, pp. 45–54, 2018.
- [18] V.B.K,I.Sengupta,andA.Das,“Audio Watermarking Based on Mean Quantization in Cepstrum Domain,” Proceedings of the 2008 16th International Conference on Advanced Computing and Communications (ADCOM 2008), pp. 73–77, 2008