

Perancangan *Audio Watermarking* Berbasiskan DWT dengan Metode *Hybrid* SMM dan SS

Design of Hybrid SMM and SS on Audio Watermarking Based on DWT

Neni Ayuni Maharani^{1*}, Gelar Budiman², Nur Ibrahim³

Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jalan Telekomunikasi Terusan Buahbatu Bandung, (022) 7564108¹²³

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

nuribrahim@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak - *Watermarking merupakan salah satu solusi untuk melindungi keaslian suatu karya dari berbagai tindakan distribusi ilegal dan pelanggaran hak cipta. Audio watermarking adalah metode penyisipan informasi yang diterapkan pada data audio untuk melindungi keaslian dan hak ciptanya. Pada makalah ini, perancangan audio watermarking dibuat berdasarkan Discrete Wavelet Transform (DWT) dengan metode Hybrid Statistical Mean Manipulation (SMM) dan Spread Spectrum (SS). Pada host audio akan dilakukan proses dekomposisi dengan DWT yang menghasilkan subband frekuensi rendah dan tinggi. Selanjutnya host audio yang terpilih akan melalui proses penyisipan watermark. Metode SMM akan melakukan penyisipan dengan menghitung rata-rata host audio dalam satu frame pada frekuensi rendah sedangkan, metode SS melakukan penyisipan pada host audio dengan banyak Pseudo-Noise (PN) Sequence pada frekuensi tinggi. Optimasi pada audio watermarking dilakukan dengan melakukan evaluasi parameter uji sehingga mendapatkan nilai yang baik. Hasil dari perancangan ini mendapatkan kualitas audio terbaik pada audio bass.wav dengan rata-rata nilai ODG -0.19, SNR 38.88 dB, BER 0.21, dan MOS 4.13 yang berarti watermarking tahan dan kuat terhadap berbagai serangan pengolahan sinyal.*

Kata Kunci: *Audio Watermarking, DWT, SMM, SS*

Abstract - *Watermarking is one of the solutions to protect the authenticity of work from various illegal actions and violate copyrights. Audio watermarking is a method of inserting information which is applied to audio file to protect its authenticity and copyrights. In this paper, the design of audio watermarking based on Discrete Wavelet Transform (DWT) with Hybrid Statistical Mean Manipulation (SMM) and Spread Spectrum (SS) methods. DWT decomposes the host audio and produces low-frequency and high-frequency subbands. Next, the selected host audio will go through an insertion watermark process. SMM method will calculate the average host audio in one frame at low-frequency whereas, the SS method does the insertion of host audio with many Pseudo-Noise (PN) sequences at high-frequency. Optimization of audio watermarking is done by evaluating the parameters and get a good value. The results of this design get the best audio quality in audio bass.wav with an average value of ODG -0.19, SNR 38.88 dB, BER 0.21, and MOS 4.13 which means watermarking is resistant and strong against various signal processing attacks.*

Keywords: *Audio Watermarking, DWT, SMM, SS.*

1. Pendahuluan

Selama satu dekade terakhir, kemajuan teknologi informasi yang sangat cepat memiliki pengaruh pada kecepatan mengakses informasi, misalnya konversi sejumlah besar media menjadi bentuk digital. Kemudahan itu juga membawa dampak negatif seperti adanya penduplikasian, pengiriman, dan penyimpanan sebuah data secara tidak etis sehingga meningkatkan resiko pelanggaran hak cipta dan pelestarian *intellectual property rights* (IPR) [1]. Menurut IFPI (*International Federation of the Phonographic Industry*), industri rekaman kehilangan miliaran dolar setiap tahun karena penyalinan dan distribusi file *audio* yang ilegal [2]. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut digunakan sebuah teknik *audio watermarking*. *Audio watermarking* adalah teknik penyisipan sebuah informasi ke dalam *host audio*. Dalam beberapa tahun terakhir, teknik *audio watermarking* telah mencapai kemajuan yang signifikan dan ada beberapa algoritma yang baik untuk menanamkan *watermark* ke file *audio* dengan prosedur *watermarking* secara langsung memodifikasi sampel *audio* [3]. *Audio watermarking* menjadi fokus penelitian yang penting dan memiliki tantangan yang lebih besar dibandingkan dengan video dan *image watermarking* karena manusia memiliki *Human Auditory System* (HAS) yang lebih baik daripada *Human Visual System* (HVS) yang disebabkan oleh telinga manusia mahir untuk mendeteksi amplitudo dan perubahan frekuensi sinyal *audio* [4]. Sebuah *audio watermarking*, khususnya dalam pengolahan sinyal, memiliki kualitas yang baik jika memenuhi tiga parameter kinerja yaitu *transparency*, *robustness*, dan *capacity* [4]. *Transparency* adalah jika tidak ada perbedaan antara *host audio* dan *audio* yang telah diberi *watermark* sehingga tidak mempengaruhi kualitas *audionya*. *Robustness* adalah ketahanan sebuah *audio watermarking* terhadap berbagai serangan. *Capacity* adalah jumlah bit yang dapat disisipkan pada sinyal *audio* dalam waktu tertentu.

Penelitian mengenai *audio watermarking* dengan metode hybrid DWT dan SMM berbasis FFT telah dipublikasikan pada [5]. DWT pertama kali diterapkan untuk mengubah *host audio* ke beberapa *subband*. Selanjutnya, dilakukan proses *embedding* bit sinkronisasi menggunakan metode SMM. *Audio watermarking* yang diuji dengan serangan *low pass filter*, *noise*, *resampling*, *time scale modification*, *pitch shifting*, *stereo to mono* dan *ambien* (rekaman) serta diharapkan mendapatkan *watermark* yang baik dan kuat. Pada [4] diterapkan kombinasi antara DWT dengan *Discrete Cosine Transform* (DCT) yang melakukan penyisipan *watermark* pada bit minimum sinyal *audio*. Penelitian tersebut menghasilkan *audio watermarking* yang tahan terhadap *noise* sehingga *audio* yang telah diberi *watermark* tidak dapat dibedakan dari sinyal *audio* aslinya. Kekurangan penelitian ini adalah kualitas *watermark* yang menurun. Penelitian pada [6] menunjukkan bahwa karakteristik DWT memberikan kompleksitas komputasi dan ketahanan yang baik dibandingkan teknik domain waktu. Metode ini menghasilkan *watermark* yang *transparency*, memiliki nilai SNR 21.48, dan tahan terhadap serangan *additive noise*, *resampling*, LPF, dan *requantization*. Pada [7] dilakukan prosedur penyisipan *watermarking* dengan metode 2D-Haar-DWT ke sinyal *audio* asli, menerapkan dekomposisi Schur ke beberapa *subband*, dan menyisipkan bit *watermark* dengan metode *Least Significant Bit* (LSB). Metode ini menghasilkan *audio watermarking* dengan *robustness*, *imperceptibility*, dan *data payload* yang tinggi.

Penelitian tentang SS pada [8] dilakukan peningkatan jumlah penyisipan informasi dengan metode baru yaitu kombinasi algoritma *Linear Predictive Coding* (LPC) yang diikuti penggunaan *High Pass Filter* (HPF) dan dibandingkan dengan metode lama, *Traditional Spread Spectrum* (TSS). Kombinasi algoritma LPC dan penggunaan HPF pada penerima menghasilkan *transparency watermark* yang baik dan tahan terhadap serangan *Band Pass Filter* (BPF). Kekurangan paper ini adalah metode LPC masih kalah dengan metode TSS yang tahan terhadap serangan *noise* dan *echo*. Metode SS dengan menggunakan *PN Sequence* ortogonal pada [9] digunakan untuk menyisipkan beberapa bit *watermark* ke dalam satu segmen *audio*. Hasil yang didapat adalah *audio watermarking* yang tahan terhadap serangan, kapasitas *watermarking* yang tinggi, dan kompleksitas komputasi yang rendah. Metode SMM dengan *Stationary Wavelet Transform* pada [10] menghasilkan ketahanan yang baik terhadap beberapa serangan yaitu LPF, *resampling*, TSM, *linear speed change*, *pitch shifting*, *equalizer*, *echo*, dan kompresi mp3, tetapi

belum tahan terhadap serangan BPF dan *host*. Setelah optimasi, terjadi peningkatan BER sebesar 45% akan tetapi hanya diperoleh *capacity* sebesar 5,38 bit/detik. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan penyempurnaan dari sistem *audio* tersebut agar bit *watermark* yang dapat disisipkan pada *host audio* memiliki kapasitas yang lebih besar.

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan sistem *audio watermarking* menggunakan metode *hybrid SMM* dan *SS* untuk menyisipkan informasi pada *subband* frekuensi rendah dan tinggi. Penyisipan ke dalam dua frekuensi tersebut bertujuan untuk memberi peluang yang kecil pada *audio* yang telah diberi *watermark* untuk mendapat serangan. Proses penyisipan bit dengan metode *SMM* dilakukan pada *subband* frekuensi rendah untuk menghitung rata-rata *host audio* dalam satu *frame*. Selanjutnya, dilakukan metode *SS* dengan menyisipkan banyak *PN Sequence* yang diacak pada *subband* frekuensi tinggi sehingga lebih sulit terdeteksi. Perancangan sistem *audio watermarking* ini diharapkan menghasilkan nilai parameter uji yang baik.

Makalah ini disampaikan dengan susunan sebagai berikut: pada bagian 1 membahas tentang pendahuluan yang meliputi hasil studi makalah tentang penelitian terkait dan usulan metode penelitian. Pada bagian 2 membahas tentang metode penelitian dan landasan teori yang digunakan. Pada bagian 3 membahas tentang hasil penelitian dan analisis. Kemudian bagian 4 membahas tentang kesimpulan dari makalah ini.

2. Metode

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai jenis metode yang digunakan yaitu metode penelitian dan metode analisis yang digunakan.

2.1. Metode Penelitian

Metode pertama yang digunakan adalah pengumpulan studi literature tentang metode-metode penelitian yang diusulkan yaitu *Discrete Wavelet Transform (DWT)*, *Statistical Mean Manipulation (SMM)*, dan *Spread Spectrum (SS)*. Selanjutnya, dilakukan implementasi *audio watermarking* dengan menggunakan metode *DWT*, *Hybrid SMM*, dan *SS* pada dua *subband* frekuensi. Penggabungan metode tersebut dikarenakan pada penelitian sebelumnya belum ada penelitian tentang penggabungan metode tersebut secara detail dan menyeluruh serta metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Implementasi *audio watermarking* ini juga dilakukan pada dua *subband* frekuensi pada sinyal *audio* sehingga diharapkan menghasilkan kualitas *audio watermarking* yang berbeda.

2.1.1. Discrete Wavelet Transform

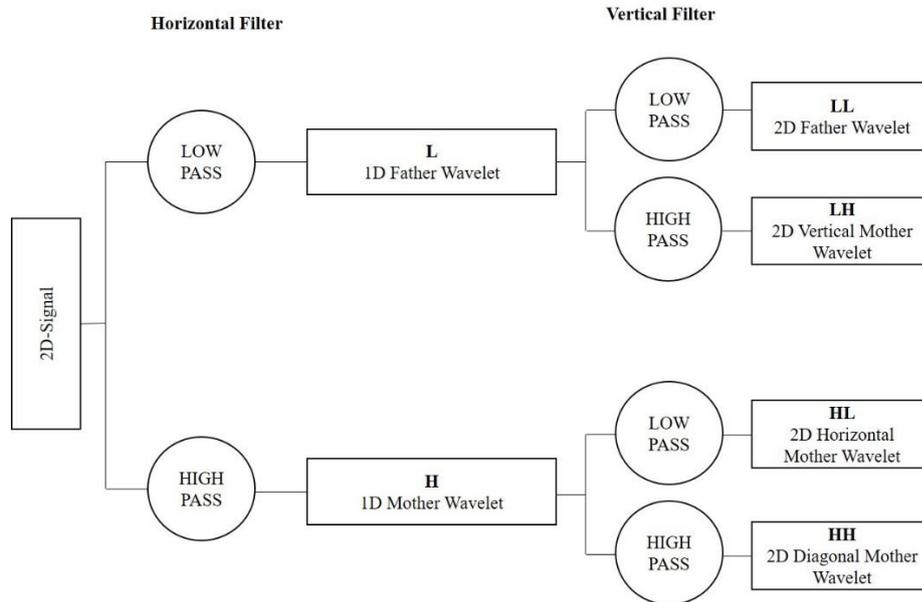
Discrete Wavelet Transform (DWT) adalah teknik yang dikembangkan untuk mengatasi kekurangan teknik *Short Time Fourier Transform* [11]. *DWT* adalah transformasi yang mampu memberikan representasi frekuensi waktu dari sinyal yang tersedia. Mengubah sinyal *audio* dari domain waktu ke domain frekuensi memungkinkan *watermark* untuk disisipkan ke bagian signifikan *host audio* yang memberikan ketahanan tinggi terhadap serangan pengolahan sinyal [6] sehingga metode ini banyak digunakan dalam pengolahan sinyal digital.

Pada metode ini sinyal *audio* akan dibagi menjadi sinyal frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dengan menerapkan *Low Pass Filter (LPF)* dan *High Pass Filter (HPF)* [9,11]. Sinyal frekuensi rendah memusatkan sebagian besar energi sinyal *audio* yang merupakan bagian utama dari sinyal *audio* asli [11]. Sinyal frekuensi tinggi berubah secara cepat dengan mengurangi waktu komputasi [11]. Pembagian *subband* frekuensi rendah dan tinggi akan diproses lebih lanjut sesuai dengan metode dan keluaran sinyal yang diinginkan. Berdasarkan [11], pembagian sinyal tersebut memiliki persamaan sebagai berikut :

$$Y_{high}[k] = \sum_n x[n]g[2k - n] \quad (1)$$

$$Y_{low}[k] = \sum_n x[n]h[2k - n] \quad (2)$$

DWT adalah metode yang dapat mendekomposisi sinyal lebih dari satu level. Dalam DWT satu dimensi (1D), LPF dan HPF mendekomposisi sinyal menjadi dua subband yaitu *father wavelet* $\phi(t)$ dan *mother wavelet* $\Psi(t)$. Dalam DWT dua dimensi (2D), *father wavelet* dan *mother wavelet* mendekomposisi sinyal menjadi empat *subband* yaitu, LL adalah *approximate signal*, LH adalah *vertical signal*, HL adalah *horizontal signal*, dan HH adalah *diagonal detail signal* [6]. Berikut ini adalah ilustrasi transformasi *wavelet* 2D level satu berdasarkan [6] :



Gambar 1. DWT 2D Level Satu

Wavelet memiliki fungsi dasar untuk menggambarkan sebuah sinyal, yaitu kombinasi dari pergeseran dan penskalaan yang disebut *mother wavelet* [7]. Salah satu metode wavelet yang sering digunakan adalah *Wavelet Haar* karena membagi sinyal menjadi beberapa *subband* dalam domain frekuensi [6,7]. *Wavelet Haar* adalah metode yang banyak digunakan dalam aplikasi kompresi *wavelet* karena yang paling sederhana dari semua metode *wavelet* transform [6].

2.1.2. Statistical Mean Manipulation

Statistical Mean Manipulation (SMM) adalah metode *embedding* dengan cara menghitung rata-rata (*mean*) *host audio* dalam satu *frame*. SMM digunakan dalam proses *embedding* bit sinkronisasi yang berfungsi untuk mendapatkan posisi *watermark* dalam proses ekstraksi [5]. Berdasarkan [10], berikut adalah persamaan SMM dalam teknik penyisipan :

$$X_W(n) = \begin{cases} x(n) - \mu_x + \alpha \cdot W_i, & \text{jika } W_i = 1 \\ x(n) - \mu_x - \alpha \cdot W_i, & \text{jika } W_i = 0 \end{cases} \quad (3)$$

dimana $x(n)$ adalah sinyal *host audio*, μ_x adalah rata-rata sinyal $x(n)$ dari satu *frame*, α adalah faktor modifikasi rata-rata pada SMM, w adalah *watermark bit sync*, dan $x(n)$ adalah *audio* yang telah diberi *watermark*.

SMM juga digunakan dalam proses ekstraksi *watermark* yaitu proses pengambilan kembali data inti paling penting yang ada pada *watermark* [10]. SMM pada ekstraksi yang dihitung merupakan *audio* yang sudah diberi *watermark*. Persamaan proses ekstraksi berdasarkan [10] yaitu:

$$X(n) = \begin{cases} x_W(n) - \mu_{xw} + \alpha \cdot W_i, & \text{jika } W_i = 1 \\ x_W(n) - \mu_{xw} - \alpha \cdot W_i, & \text{jika } W_i = 0 \end{cases} \quad (4)$$

2.1.3. Spread Spectrum

Spread Spectrum (SS) adalah metode modulasi untuk menyisipkan bit *watermark* ke bagian *host audio* [8,9]. Pada *Traditional Spread Spectrum* (TSS) terdapat *Pseudo-Noise* (PN) *Sequence* yang digunakan sebagai kunci rahasia [8] dan tingkat keamanan dalam proses penyisipan *watermark* [9]. Tanpa mengetahui PN *Sequence*, *watermark* tidak dapat diekstraksi dari *host audio* tersebut [9].

Metode SS merupakan metode penyebaran PN *Sequence* secara acak ke dalam frekuensi suatu *audio*. Pada metode ini akan dilakukan penyisipan *watermark* pada *subband* frekuensi tinggi. Berikut ini adalah persamaan metode TSS berdasarkan [8], dengan asumsi W , X , dan U adalah tiga vektor baris dengan panjang yang sama:

$$W = X + \alpha bU \tag{5}$$

dengan keterangan W adalah *audio* yang telah disisipi *watermark*, X adalah sinyal *host audio*, U adalah PN *Sequence*, b adalah bit *watermark* dengan rentang $b \in \{-1, +1\}$, dan α adalah konstanta positif yang mengontrol transparansi suatu *audio watermarking*. Perhitungan ini memberikan prosedur penyisipan yang sama pada semua *frame* sehingga PN *Sequence* yang bertindak sebagai kunci rahasia tidak dapat dideteksi dengan mudah [8].

SS adalah penyebaran banyak PN pada *host audio* sehingga lebih sulit terdeteksi. Untuk meningkatkan kapasitas *audio watermarking* tanpa menurunkan kualitasnya, sumber [12] menggunakan satu PN *Sequence* untuk menanamkan beberapa bit *watermark* ke dalam satu segmen *audio*. Berdasarkan [12], cara menghasilkan Np *Sequence* dengan menjadikan *temporally white* PN *Sequence* dari panjang N , dimana $N > Np$ dan $p_i \in \{-1, +1\}$, $i = 1, 2, \dots, N$ yaitu:

$$p1 = [p1, p2, \dots, pN] \tag{6}$$

Berdasarkan $p1$, PN *Sequence* lainnya dihasilkan dengan menggeser elemen secara melingkar dengan $p1$ *temporally white* dan PN *Sequence* $p1, p2, \dots, pNp$ adalah *near-orthogonal* [12], sebagai berikut:

$$\left\{ \begin{array}{l} p2 = [pN, p1, \dots, pN - 1] \\ p3 = [pN - 1, pN, p1, \dots, pN - 2] \\ \vdots \\ pNp = [pN - Np + 2, \dots, pN, p1, \dots, pN - Np + 1] \end{array} \right. \tag{7}$$

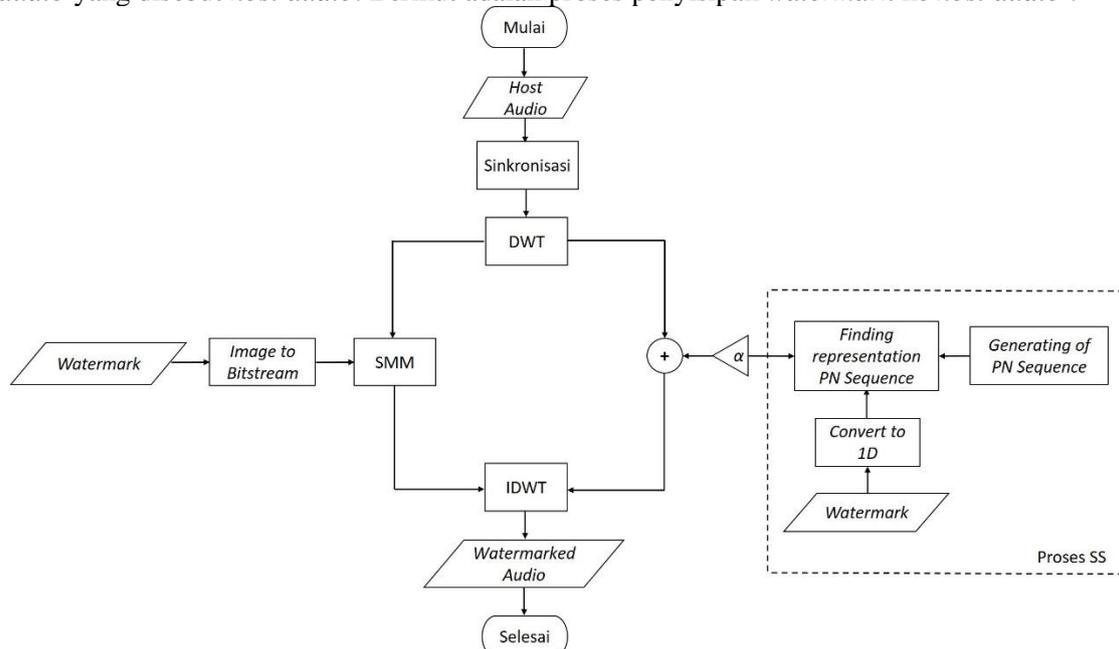
Menurut [12], dalam proses ekstraksi *watermark*, komponen *near-orthogonal* dari PN *Sequence* di atas sangat penting untuk mengekstraksi bit *watermark* dengan benar dari sinyal *audio* yang telah diberi *watermark*. Untuk menyederhanakan metode yang diusulkan, karena PN *Sequence* $p2, p3, \dots, pNp$ dihasilkan dari PN *Sequence* $p1$ maka yang harus dilakukan hanya melewati $p1$ dari pada semua PN *Sequence* untuk mencapai akhir dari proses ekstraksi *watermark* [12].

2.2. Metode Analisis Data

Metode analisis data digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai parameter kerja yang ditetapkan. Untuk mencapai hasil tersebut digunakan proses *embedding* dan proses ekstraksi dalam *audio watermarking*.

2.2.1 Proses *Embedding*

Embedding adalah suatu proses penyisipan suatu informasi yang disebut *watermark* pada file *audio* yang disebut *host audio*. Berikut adalah proses penyisipan *watermark* ke *host audio* :

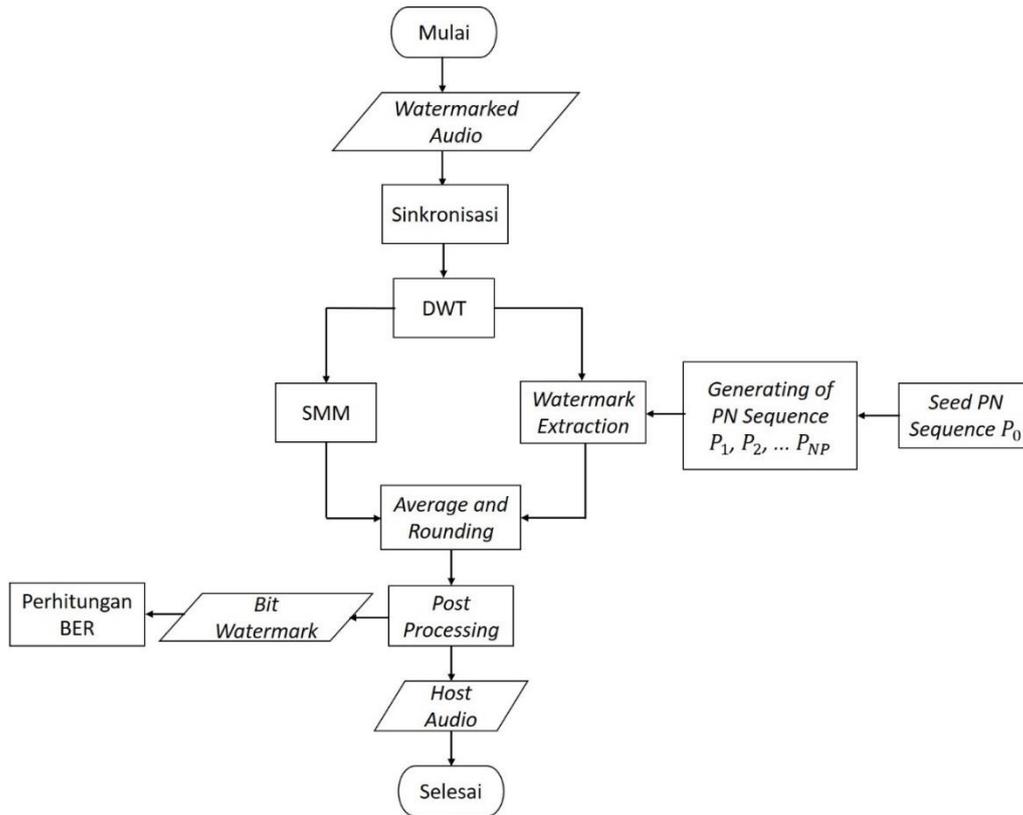


Gambar 2. Skema umum proses *embedding*.

- Langkah 1: Membaca sinyal *host audio* ke dalam ukuran matriks satu dimensi. *Watermark* yang akan digunakan berupa citra berukuran 5x5, 10x10, dan 15x15 *pixel*.
- Langkah 2: Tambahkan *header* pada *audio* dalam proses sinkronisasi.
- Langkah 3: Lakukan proses DWT untuk mendekomposisi sinyal *audio* menjadi *subband* frekuensi rendah dan *subband* frekuensi tinggi.
- Langkah 4: Selanjutnya akan dilakukan proses *embedding* sesuai dengan pembagian *subband* yaitu *subband* frekuensi rendah dengan teknik penyisipan SMM dan *subband* frekuensi tinggi dengan teknik penyisipan SS.
- Langkah 5: Pada *subband* frekuensi rendah dilakukan proses penyisipan dengan SMM dengan ditambahkan bit sinkronisasi hingga menghasilkan sinyal keluaran seperti persamaan (2.3).
- Langkah 6: Pada *subband* frekuensi tinggi dilakukan proses penyisipan dengan SS. Proses penyisipan tersebut dilakukan dengan menggunakan satu *PN Sequence* untuk menyisipkan beberapa bit *watermark* dalam satu segmen *audio*.
- Langkah 7: Jumlah bit *watermark* yang akan disisipkan dalam satu segmen *audio* adalah nb , maka dapat menghasilkan hingga $2nb$ bit *watermark* berbeda yang disebut Np .
- Langkah 8: Setelah mendapatkan sinyal *audio* yang telah disisipi *watermark* maka dilakukan perkalian dengan *gain* berupa α lalu ditambahkan dengan sinyal *audio* hasil dekomposisi DWT.
- Langkah 8: Lakukan proses IDWT untuk mengembalikan sinyal menjadi sinyal aslinya sebelum disisipi *watermark*. Hasil dari proses ini berupa *watermarked audio*.

2.2.2 Proses Ekstraksi

Ekstraksi adalah proses pengambilan kembali *watermark* yang sudah disisipi dari *watermarked audio* untuk mengetahui kualitas *watermark* dari metode yang digunakan. Berikut adalah proses ekstraksi *watermarked audio* ke *host audio*:



Gambar 3. Skema umum proses ekstraksi.

- Langkah 1: Membaca sinyal *watermarked audio* ke dalam ukuran matriks satu dimensi.
- Langkah 2: Lakukan proses sinkronisasi untuk mendeteksi lokasi awal bit *watermark* yang sudah disisipkan pada *audio*.
- Langkah 3: Lakukan proses DWT untuk menentukan *subband* mana yang akan digunakan untuk proses ekstraksi.
- Langkah 4: Mendeteksi bit sinkronisasi dengan SMM dari *subband* frekuensi rendah keluaran DWT. Merata-ratakan sinyal pada satu segmen, jika hasilnya diatas 0 maka *watermark* yang dideteksi bernilai “1”, namun jika hasil rata-ratanya di bawah 0 maka *watermark* yang dideteksi bernilai “0”. Sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$w_i = \begin{cases} 1, \mu_i \geq 0 \\ 0, \mu_i < 0 \end{cases} \quad (8)$$

- Langkah 5: Menggunakan *seed PN Sequence* yaitu p_0 untuk mengekstraksi bit *watermark* tertanam dari sinyal *audio subband* frekuensi tinggi keluaran DWT. *Seed PN Sequence* p_0 bertindak sebagai kunci rahasia untuk proses ekstraksi, dimana tanpa p_0 bit *watermark* yang telah disisipi tidak akan bisa diekstraksi.
- Langkah 6: Hitung rata-rata dan lakukan pembulatan hasil dari nilai-nilai yang telah didapatkan dari proses ekstraksi.
- Langkah 7: Lakukan proses *post processing* yang berfungsi untuk mengubah matriks satu dimensi menjadi matriks dua dimensi.
- Langkah 8: Diambil kembali bit *watermark*nya dan lakukan perhitungan untuk nilai BER.

3. Parameter Pengujian

Pengujian dilakukan dengan penilaian terhadap kualitas *audio* yang telah diberi *watermark* dan *watermark* hasil ekstraksi dengan mengukur nilai dari parameter *Bit Error Rate* (BER), *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Objective Difference Grade* (ODG), dan *Mean Opinion Score* (MOS).

3.1. Bit Error Rate

Bit Error Rate (BER) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas dan ketahanan suatu *audio watermarking* [13]. BER adalah persentase jumlah bit *error* antara *watermark* asli dan *watermark* yang telah diekstraksi. Berikut adalah persamaan untuk perhitungan BER dimana *berror* adalah jumlah bit *error* dan *MxN* adalah jumlah bit keseluruhan yang telah diberi *watermark* :

$$BER = \frac{b_{error}}{MxN} \times 100\% \tag{8}$$

3.2. Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah parameter yang banyak digunakan untuk mengukur kualitas *audio* yang telah diberi *watermark* secara objektif. SNR adalah nilai perbandingan dari daya sinyal *audio* yang telah diberi *watermark* terhadap daya *noise* [6]. Menurut *International Federation of the Phonographic Industry* (IFPI), suatu *audio watermarking* memiliki kualitas yang baik jika nilai SNR di atas 20 dB [6]. Berikut adalah persamaan untuk sinyal *audio watermarking* dimana *n* adalah panjang sinyal *audio*, *X* adalah sinyal *audio* asli, dan *X** adalah sinyal *audio watermarking* :

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=1}^N X^2(n)}{\sum_{n=1}^N [X(n) - X^*(n)]^2} \tag{9}$$

3.3. Objective Difference Grade

Objective Difference Grade (ODG) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur perbedaan antara sinyal *audio* asli dengan sinyal *audio* yang telah diberi *watermark* [7]. ODG adalah perhitungan lain yang berfungsi untuk mengevaluasi *imperceptibility* dari skema yang diusulkan. Nilai ODG yang dihasilkan dapat dievaluasi dengan menggunakan teknik perhitungan *Perceptual Evaluation Of Audioquality* (PEAQ) yang telah ditetapkan dalam ITU-R BS.1387 [7]. Penilaian ODG dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. *Objective Difference Grade*.

Skala	Deskripsi	Kualitas
ODG/PEAQ		<i>Audio</i>
0	<i>Watermark</i> tidak terdengar	Sangat baik
-1	<i>Watermark</i> terdengar tapi tidak mengganggu	Baik
-2	<i>Watermark</i> terdengar dan sedikit mengganggu	Cukup
-3	<i>Watermark</i> terdengar dan mengganggu	Buruk
-4	<i>Watermark</i> terdengar dan sangat mengganggu	Sangat buruk

3.4. Mean Opinion Score

Mean Opinion Score (MOS) adalah parameter subjektif yang digunakan untuk mengukur perbedaan antara sinyal *audio* asli dengan sinyal *audio* yang telah diberi *watermark* [6]. Penilaian ini dilakukan berdasarkan pengamatan dan pendengaran manusia. Penilaian MOS dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. *Mean Opinion Score*.

Skala	Deskripsi	Kualitas
MOS		<i>Audio</i>
5	<i>Watermark</i> tidak terdengar	Sangat baik
4	<i>Watermark</i> terdengar tapi tidak mengganggu	Baik
3	<i>Watermark</i> terdengar dan sedikit mengganggu	Cukup
2	<i>Watermark</i> terdengar dan mengganggu	Buruk
1	<i>Watermark</i> terdengar dan sangat mengganggu	Sangat buruk

4. Kesimpulan

Dalam makalah ini diusulkan sebuah skema *audio watermarking* dengan menggunakan teknik hybrid SMM dan SS dengan DWT. Perancangan *audio watermarking* ini akan diberi pengujian serangan berupa *filtering*, *noise*, *resampling*, *time scale modification*, dan *pitch shifting*. Hasil dari perancangan ini mendapatkan kualitas *audio* terbaik pada *audio bass.wav* dengan rata-rata nilai ODG -0.19, SNR 38.88 dB, BER 0.21, dan MOS 4.13.

Referensi

- [1] R. Jain, M. C. Trivedi and S. Tiwari, "Digital Audio Watermarking: A Survey," *Springer Nature Singapore*, 2018.
- [2] S. Dutt, "A Survey of Digital Audio Watermarking Techniques," *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*, vol. 6, no. 3, pp. 3067-3072, 2015.
- [3] P. Y. Chincholkar, D. S. Ganorkar and S. P. Kude, "A Survey: Digital Audio Watermark Designed Methods," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 6, no. 6, pp. 288-292, 2017.
- [4] P. S. M. Deokar and B. Dhaigude, "Blind Audio Watermarking Based On Discrete Wavelet and Cosine Transform," *International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*, 2015.
- [5] Z. Z. Zukhrufjannah, G. Budiman and L. Novamizanti, "Perancangan Audio Watermarking Stereo Dengan Sinkronisasi Menggunakan Metode Hybrid Dwt Dan Smm Berbasis Fft," *Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017 Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta"*, pp. 105-111, 2017.
- [6] M. Patil and J. S. Chitode, "Improved Technique for Audio Watermarking Based on Discrete Wavelet Transform," *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 2, no. 5, pp. 511-516, 2013.
- [7] H. Karajeh, T. Khatib, L. Rajab and M. Maqableh, "A robust digital audio watermarking scheme based on DWT and Schur decomposition," *Springer Science+Business Media*, 2019.
- [8] H. F. Tafreshi and A. A. S. Farani, "Spread Spectrum Audio Watermarking: Enhancement of Detection and Watermarking Capacity," *The 22nd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE 2014)*, pp. 1477-1482, 2014.
- [9] Y. Xiang, I. Natgunanathan, D. Peng, G. Hua and B. Liu, "Spread Spectrum Audio Watermarking Using Multiple Orthogonal PN Sequences and Variable Embedding Strengths and Polarities," *Transactions on Audio, Speech, and Language Processing IEEE*, 2017.
- [10] L. Novamizanti, G. Budiman and B. A. Wibowo, "Optimasi Sistem Penyembunyian Data pada Audio menggunakan Sub-band Stasioner dan Manipulasi Rata-rata Statistik," *ELKOMIKA*, vol. 6, no. 2, pp. 165 - 179, 2018.

-
- [11] D. Ambika and V. Radha, "Speech Watermarking Using Discrete Wavelet Transform, Discrete Cosine Transform, and Singular Value Decomposition," *International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSET)*, vol. 5, no. 11, pp. 1089-1093, 2014.
- [12] Y. Xiang, I. Natgunanathan, Y. Rong and S. Guo, "Spread Spectrum-Based High Embedding Capacity Watermarking Method for Audio Signals," *Acm Transactions On Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 23, no. 12, pp. 2228-2237, 2015.
- [13] A. Elshazly, M. .. Nasr, M. M. Fuad and F. E. A. El-Samie, "Synchronized Double Watermark Audio Watermarking Scheme Based on a Transform Domain for Stereo Signals," *Fourth International Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers (JEC-ECC)*, pp. 52-57, 2016.