

**PENERAPAN KNN PADA DETEKSI ASCII PASCA HASIL EKSTRAKSI AUDIO WATERMARKING  
MENGUNAKAN TEKNIK SMM PADA SEGMENT AUDIO SECARA ADAPTIF**

**APPLICATION OF KNN IN DETECTION OF ASCII POST-RESULTS OF AUDIO WATERMARKING  
EXTRACTION USING SMM TECHNIQUES IN AUDIO SEGMENTS ADAPTIVELY**

**Dela Millenia Alpiani<sup>1</sup>, Gelar Budiman<sup>2</sup>, Syamsul Rizal<sup>3</sup>**

1,2,3Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>delamilleniaa@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>gelarbudiman@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>syamsul@telkomuniversity.ac.id

---

**Abstrak**

Perkembangan zaman yang semakin pesat membuat penyebaran informasi pada internet dalam bentuk multimedia pada era sekarang sangat mudah dan tidak dapat dipungkiri banyak sekali pihak yang tidak bertanggung jawab memodifikasi informasi tanpa persetujuan hak milik dari pencipta. Internet juga tidak lagi menjamin bahwa informasi yang tersebar tidak disalah gunakan. Mengatasi hal tersebut, maka sangat dibutuhkan penanda hak milik dari data yang diciptakan atau dibuat yaitu *watermarking*. Pada penelitian ini akan dirancang suatu *watermarking* berbasis *Stationary Wavelet Transform* (SWT) menggunakan metode *Statistical Mean Manipulation* (SMM). Selain itu, dalam proses ekstraksinya digunakan penerapan *K-Nearest Neighbor* (KNN) untuk mendeteksi ASCII dan berfungsi untuk meningkatkan keakuratan proses deteksi *extracted watermark*. SWT berfungsi untuk mendapatkan frekuensi yang akan disisipkan *watermark*. Selanjutnya metode SMM berfungsi untuk menghitung rata-rata host audio dalam satu *frame* dan dilanjutkan dengan penyisipan bit. Hasil yang diperoleh dari perancangan sistem *audio watermarking* adalah *watermarking* tahan terhadap serangan. Dengan hasil BER rata-rata terkecil sebesar 0.17, ODG sebesar -0.42, nilai SNR yaitu 31.94 dB, CDR rata-rata tertinggi bernilai 81%, payload sebesar 42.05 bps, dan MOS tertinggi bernilai 4.50. Ini membuktikan bahwa kualitas *audio watermarking* yang dirancang cukup baik dan memiliki sistem yang tahan terhadap serangan kompresi, *filtering*, *resampling*, dan serangan lainnya.

**Kata Kunci:** *Audio Watermarking, Stationary Wavelet Transform, Statistical Mean Manipulation, K-Nearest Neighbor.*

---

**Abstract**

*The rapid development of the times makes the dissemination of information on the internet in the form of multimedia in today's era very easy and it cannot be denied that there are many parties who are not responsible for being responsible for information without the consent of the copyright from the creator. The internet also no longer guarantees that information that is not well known is misused. To overcome this, it is very necessary to mark the property rights of the data created or created, namely watermarking. In this final project, we will design a watermark based on Stationary Wavelet Transform (SWT) using the Statistical Mean Manipulation (SMM) method. In addition, in the extraction process, the application of K-Nearest Neighbor (KNN) is used to monitor ASCII and functions to improve the accuracy of the watermark detection process. SWT functions to get the frequency that will include the watermark. Furthermore, the SMM method for calculating the average host audio in one frame and functions with the insertion of bits. The results obtained from the design of the audio watermarking system are that watermarking is resistant to attacks. With the average BER growth results of 0.17, ODG of -0.42, SNR value of 31.04 dB, CDR of 81%, the payload of 42.05 bps, and MOS of 4.50. This proves that the quality of the audio watermark that is designed is good enough and has a system that is resistant to compression, filtering, resampling, and other attacks.*

**Key words:** *Audio Watermarking, Stationary Wavelet Transform, Statistical Mean Manipulation, K-Nearest Neighbor*

---

## 1. Pendahuluan

Pada perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi, informasi dalam bentuk multimedia seperti audio, video, dan citra mudah menyebar dan bisa diperoleh dengan sangat mudah. Tetapi, pada sisi pencipta karya, hal tersebut dapat memberikan ancaman hak cipta dan pembajakan. Internet tidak lagi menjamin pengiriman informasi yang aman karena pihak yang kurang bertanggung jawab semakin banyak dan menyebabkan peluang karya dimodifikasi tanpa persetujuan pencipta. Menurut *International Federation of the Phonographic Industry* (IFPI), industri rekaman musik setiap tahunnya mengalami kehilangan miliar dolar yang disebabkan oleh distribusi file dan penyalinan audio secara ilegal [1]. Mengatasi hal tersebut, cara meningkatkan keamanan data pun semakin dikembangkan salah satunya yaitu *watermarking*.

*Watermarking* merupakan penyisipan *watermark* sebagai informasi kepemilikan dalam suatu host data [2]. *Watermarking* memiliki kriteria yang harus dipenuhi yaitu: *imperceptibility*, *robustness*, dan *payload* [3]. *Watermarked audio* akan diberi berbagai macam serangan yang bertujuan untuk menguji ketahanan *watermark* yang disisipkan. Pada dasarnya properti yang dibutuhkan oleh *watermarking* ada dua, yaitu media penampung (*host*) dan *watermark* atau informasi. Ada beberapa media digital yang berperan sebagai host yaitu audio digital, video digital dan citra digital. Salah satu media penampung yang biasa digunakan pada *watermarking* yaitu file audio.

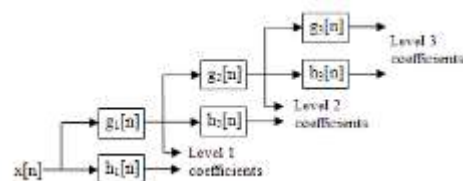
Saat ini pengimplementasian *watermarking* sudah banyak dilakukan. Seperti pada penelitian [4] yang menerapkan *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dan *Statistical Mean Manipulation* (SMM) sebagai metode penyisipan dan ekstraksinya. Tetapi pada penelitian [4] tidak diterapkan pendeteksian *watermark* hasil ekstraksi sehingga *watermark* hasil ekstraksi akan lebih rentan rusak jika diberi serangan yang menyebabkan *watermark* tidak dapat dikenali. Pada penelitian [6] data *watermark* yang digunakan berupa citra. Untuk proses penyisipan digunakan metode SMM dan *cepstrum* domain *transform*. Dalam proses ekstraksinya penelitian [6] menghasilkan tingkat *robustness* yang baik, tetapi jika dibandingkan dengan metode yang diusulkan pada Tugas Akhir ini, penelitian [6] menghasilkan nilai BER yang sangat tinggi pada serangan kompresi MP3 dan tingkat *imperceptibility* yang lebih rendah.

Pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan perancangan audio *watermarking* berbasis *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dengan menerapkan metode *Statistical Mean Manipulation* (SMM). Metode SMM ialah suatu metode penanaman *watermark* pada host audio dengan cara menghitung rata-rata (*mean*). Untuk mendapatkan hasil ekstraksi yang lebih baik dan efektif, Tugas Akhir ini menerapkan *K-Nearest Neighbors* pada pendeteksian simbol ASCII. *K-Nearest Neighbor* (KNN) merupakan salah satu metode berbasis NN yang paling tua dan populer di dalam melakukan pengkategorian teks. Dalam penentuan prediksi label kelas pada data uji ditentukan dengan nilai  $k$  yang menyatakan jumlah tetangga terdekat. Cara kerja dari KNN perlu adanya penentuan masukkan berupa data latih, data uji dan nilai  $k$  [5].

## 2. Dasar Teori dan Metodologi

### 2.1 Stationary Wavelet Transform

*Stationary Wavelet Transform* (SWT) adalah algoritma yang dirancang untuk mengatasi kekurangan translasi invarian pada transformasi sebelumnya (DWT) [4]. SWT secara inheren merupakan skema redundan karena *output* dari setiap level SWT berisi jumlah sampel yang sama dengan input. Transformasi *wavelet* sendiri, berfungsi untuk memperlebar sinyal digital ke dalam bentuk domain *wavelet*. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang tidak muncul pada domain aslinya (umumnya waktu) [12]. Dekomposisi dilakukan untuk mendapatkan sinyal pada frekuensi tinggi dan rendah dengan cara melewatkan sinyal informasi ke *High Pass Filter* (HPF) dan *Low Pass Filter* (LPF). Perbedaan antara SWT dengan DWT terdapat pada operator *downsampling* yang tidak digunakan pada SWT. Cara kerja dari sistem SWT untuk 3 level dekomposisi ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1** Diagram Blok *Stationary Wavelet Transform*

Selanjutnya dilakukan *invers* SWT yang bertujuan untuk mengembalikan sinyal dekomposisi ke sinyal aslinya.

### 2.2 Statistical Mean Manipulation

SMM merupakan salah satu proses penyisipan bit sinkronisasi ke dalam sinyal host yang dilakukan saat proses perancangan *watermarking*. Menurut sumber [1], pada teknik penyisipan SMM *watermark* akan disisipkan pada domain spektrum sinyal host dengan menghitung nilai rata-rata koefisien spektrum. Teknik penyisipan SMM diberikan dengan persamaan berikut [2].

$$x_w(n) = \begin{cases} x(n) - \bar{x} + \alpha \cdot w_i; & \text{jika } w_i = 1 \\ x(n) - \bar{x} - \alpha \cdot w_i; & \text{jika } w_i = 0 \end{cases} \tag{2.1}$$

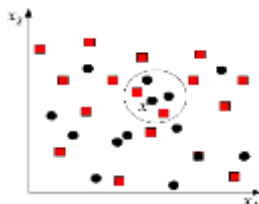
Dimana  $x(n)$  merupakan sinyal audio,  $\bar{x}$  yaitu rata-rata dari sinyal audio per satu segmen,  $\alpha$  adalah nilai gain watermark,  $w_i$  adalah watermark bit, dan  $x_w(n)$  adalah sinyal audio ter-watermarking. Selain digunakan untuk proses penyisipan, SMM juga digunakan untuk proses ekstraksi watermark. Berikut persamaan SMM untuk teknik ekstraksi.

$$w_i = \begin{cases} \bar{x}_w \geq 0, & \text{jika } w_i = 1 \\ \bar{x}_w < 0, & \text{jika } w_i = 0 \end{cases} \tag{2.2}$$

Pada proses ekstraksi menggunakan metode SMM hanya dilakukan perhitungan rata-rata sinyal audio ter-watermark per satu segmen. Jika rata-rata dari sinyal audio ter-watermark per satu segmen bernilai lebih dari 0, maka watermark akan bernilai 1, jika rata-rata dari sinyal audio ter-watermark per satu segmen bernilai kurang dari 0, maka watermark akan bernilai 0.

### 2.3 K-Nearest Neighbors

KNN merupakan sebuah algoritma yang berfungsi untuk melakukan klasifikasi terhadap objek berdasarkan data yang jaraknya paling dekat dengan objek tersebut. Tujuan dari algoritma ini adalah untuk mengklasifikasikan objek baru berdasarkan atribut dan *sample-sample* dari *training data*. Algoritma KNN menggunakan *Neighborhood Classification* sebagai nilai prediksi dari nilai *instance* yang baru [3]. KNN mempunyai dua fase, yaitu fase *training* dan fase klasifikasi. Pada fase *training* algoritma KNN hanya melakukan penyimpanan fitur, pada fase klasifikasi fitur sebelumnya digunakan kembali dan dihitung untuk *test* data dimana klasifikasinya belum diketahui. Perhitungan jarak dari vektor baru terhadap seluruh vektor sampel dihitung dan data yang diambil merupakan data jumlah  $k$  yang paling dekat.



Gambar 2 Cara kerja K-NN

Pengukuran jarak yang paling umum adalah jarak *euclidean*. *Euclidean distance* dapat digunakan untuk mengukur kemiripan sebuah objek satu dengan objek lainnya. Untuk mengukur tingkat kemiripan data dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

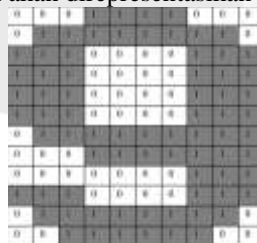
$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2} \tag{2.3}$$

Dimana  $x_i$  merupakan sampel data,  $y_i$  adalah data uji atau data *testing*,  $i$  adalah variabel data,  $d(x, y)$  adalah *dissimilarity*/jarak,  $m$  adalah dimensi data.

#### 2.3.1 Template Matching

Pada dasarnya *template matching* adalah proses yang sederhana. Suatu citra masukan yang mengandung *template* tertentu dibandingkan dengan *template* pada basis data. *Template* ditempatkan pada pusat bagian citra yang akan dibandingkan dan dihitung seberapa banyak titik yang paling sesuai dengan *template* [5]. Langkah ini diulangi terhadap keseluruhan citra masukan yang akan dibandingkan.

Citra masukan dihitung berdasarkan banyaknya titik yang sesuai dengan citra *template*. *Pixel* citra biner ditelusuri mulai dari kiri atas hingga ke kanan bawah. Citra biner dengan pixel berwarna hitam akan direpresentasikan dengan nilai 1. Sedangkan pixel citra yang berwarna putih akan direpresentasikan dengan nilai 0.



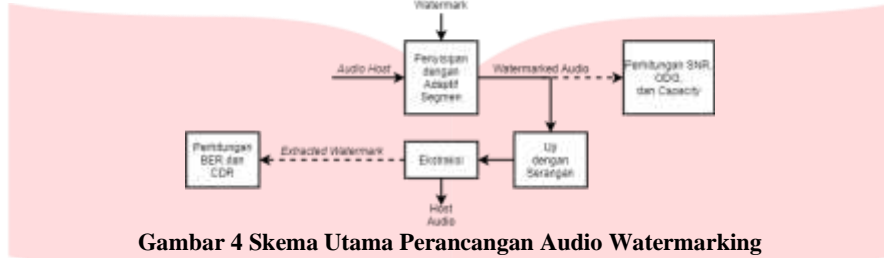
Gambar 3 Ilustrasi biner setiap pixel pada citra angka 9

Deretan angka biner pada citra masukan akan dihitung dengan deretan angka biner pada citra *template*. *Template* dengan nilai eror terkecil merupakan *template* citra yang paling sesuai dengan citra masukan [6].

### 3. Perancangan Sistem

### 3.1 Desain Sistem

Dalam proses perancangan *audio watermarking*, *file audio* dengan format \*.wav akan dijadikan sebagai sinyal *host*, sedangkan data *watermark* yang akan disisipkan berupa teks 'DELA' yang akan secara otomatis diubah menjadi citra atau disebut juga dengan *text to image*. *Watermark* tersebut menggunakan resolusi 22x15. Perancangan sistem pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu proses penyisipan dan proses ekstraksi. Gambar 3.2 merupakan visualisasi skema utama *audio watermarking* yang akan dirancang.

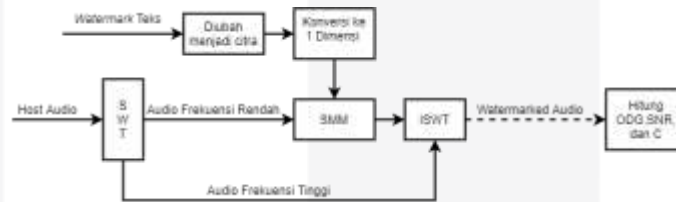


Gambar 4 Skema Utama Perancangan Audio Watermarking

### 3.2 Skema Penyisipan

Pada tahap penyisipan (embedding) dilakukan dengan adaptif segmen yang bertujuan untuk memeriksa kelayakan segmen sebelum disisipkan watermark. Segmen yang memiliki daya relatif tinggi akan dipilih untuk proses penyisipan. Pilihan ini dapat menjamin stabilitas segmen terhadap serangan, terutama serangan de-sinkronisasi seperti zero inserting. Mekanisme pemilihan yang diusulkan dilakukan dengan menghitung daya dari suatu segmen yang memungkinkan dengan syarat segmen embedding akan mempunyai daya yang lebih besar dari threshold yang telah ditentukan. Energi sinyal akan dihitung tergantung pada energi kuadrat rata-rata akar untuk segmen tersebut. Hanya segmen dengan daya sinyal lebih tinggi dari nilai threshold yang telah ditentukan yang akan diberi bit watermarking. Nilai daya sangat bergantung pada jenis audio. Dengan demikian, nilai threshold dapat berubah juga.

Pada proses penyisipan, data *watermark* berupa teks yang diubah menjadi citra akan disisipkan ke dalam *host audio*. Adapun tahapan yang akan dilalui dalam proses penyisipan yaitu dekomposisi SWT dan penyisipan SMM. Selanjutnya akan dilakukan invers SWT untuk mendapatkan hasil *watermarked audio*.



Gambar 5 Skema Penyisipan Watermark Menggunakan Metode SMM berbasis SWT

Langkah-langkah proses penyisipan dijelaskan sebagai berikut:

1. Membaca *watermark* berupa teks.
2. *Watermark* berupa teks akan diubah menjadi citra biner, Adapun Langkah-langkah *convert text to image* sebagai berikut.
  - a. Teks yang dimasukkan adalah 'DELA'.
  - b. Hitung panjang teks 'DELA' yaitu terdiri dari 4 karakter.
  - c. Cocokkan masing-masing karakter dengan `char_array_all.mat`.
  - d. Mengambil matrik biner dari `data_all.mat` yang disesuaikan dengan no index huruf. Maka dihasilkan matrik seperti gambar dibawah ini.



Gambar 6 Text to Image

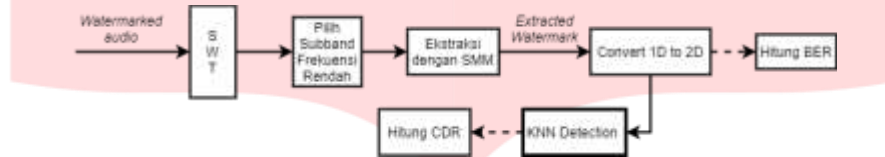
3. *Watermark* teks yang sudah diubah menjadi citra dengan resolusi 22x15 lalu diubah menjadi 1 dimensi agar menyesuaikan dengan *host audio*. Karena sinyal audio hanya memiliki 1 dimensi, dengan begitu data citra *watermark* dapat disisipkan di *host audio*. Proses perubahan citra 2 dimensi menjadi 1 dimensi dilakukan dengan proses *reshape* pada citra ukuran 22x15 menjadi vektor berukuran 1x330.
4. Membaca file *host audio*. *Host audio* yang digunakan untuk penyisipan pada sistem ini berupa audio mono. Audio mono hanya memiliki 1 kanal sehingga dapat mempermudah proses penyisipan.
5. Melakukan proses dekomposisi dengan metode SWT yang berfungsi untuk mendapatkan frekuensi yaitu

frekuensi rendah dan frekuensi tinggi.

6. Memilih frekuensi rendah untuk dilakukan penyisipan.
7. Proses penyisipan akan dilakukan menggunakan metode SMM. Penyisipan dilakukan menggunakan perhitungan pada persamaan 2.1. Keluaran dari proses penyisipan berupa *subband* sinyal frekuensi yang telah disisipkan *watermark*.
8. Melakukan proses ISWT yaitu penggabungan kembali audio frekuensi rendah dan frekuensi tinggi sehingga menghasilkan *audio watermarked*.
9. Melakukan perhitungan parameter performansi yaitu ODG, SNR dan *Capacity*.

### 3.3 Proses Ekstraksi

Pada tahap ekstraksi, *watermark* akan dipisahkan dengan *host audio*. Gambar 3.5 merupakan visualisasi skema ekstraksi menggunakan metode SMM berbasis SWT.



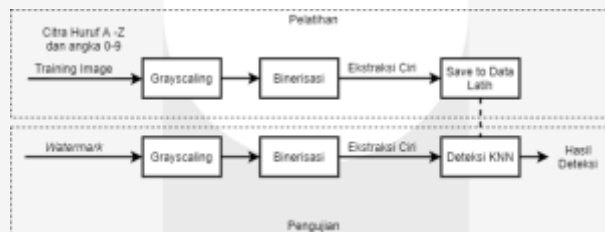
**Gambar 7 Skema Ekstraksi Watermark Menggunakan Metode SMM berbasis SWT**

Penjelasan lebih rinci mengenai tahapan yang akan dilakukan akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Membaca file *watermarked audio*
2. Dilanjutkan dengan proses dekomposisi pada *watermarked audio* untuk memisahkan *subband* frekuensi pada sinyal *watermarked audio*.
3. Melakukan ekstraksi menggunakan SMM untuk *watermarked audio* pada sinyal frekuensi rendah sehingga menghasilkan *extracted watermark*.
4. Bit *extracted watermark* satu dimensi akan diubah menjadi dua dimensi sehingga menghasilkan citra biner.
5. Menghitung *Bit Error Rate*.
6. Melakukan pengujian deteksi KNN. Pengujian deteksi KNN berfungsi untuk mendeteksi watermark ter-ekstraksi. Visualisasi dari proses pengujian KNN secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.6.
7. Output dari deteksi KNN yaitu berupa teks.
8. Menghitung *Character Detection Rate* (CDR).

### 3.4 Pengujian Data KNN

Pada proses pengujian data akan dilakukan *training* data terlebih dahulu. Data latih yang digunakan yaitu folder yang berisi citra huruf kapital A sampai Z dan citra angka 0 sampai 9. Selanjutnya bit *watermark* berperan sebagai *testing image*.



**Gambar 8 Proses Pengujian KNN**

Tahapan proses pelatihan KNN yaitu:

1. *Training image* yang diinputkan berupa citra huruf A sampai Z dan angka 0 sampai 9.
2. Selanjutnya *training image* akan melalui proses *grayscale* untuk mengubah citra menjadi berwarna keabuan dengan cara mengambil rata-rata dari warna merah, hijau, dan biru dari setiap pixelnya. Dari *array grayscale* 3 dimensi akan diambil 1 array dari warna merah.
3. Citra hasil proses *grayscale* akan diubah menjadi citra biner dengan proses binerisasi. *Array grayscale* diubah ke biner dengan memberikan nilai biner 0 pada pixel yang memiliki nilai keabuan dan yang lain diberi nilai 1.
4. Hasil binerisasi akan dilanjutkan dengan ekstraksi ciri menggunakan *template matching*. Fungsi *template matching* mengimplementasikan satu bagian metode untuk menemukan bagian gambar yang sama pada template yang diberikan.
5. Setelah itu, hasil dari ekstraksi ciri yaitu ciri latih akan disimpan ke file data latih atau *database*.

Tahapan proses pengujian KNN yaitu:

1. *Testing image* yang diinputkan yaitu *watermark*.



2. *Testing image* akan melalui proses *grayscale*.
3. Hasil dari proses *grayscale* akan melalui proses binerisasi.
4. Setelah itu akan dilanjutkan dengan proses ekstraksi ciri untuk mendapatkan ciri uji yang nantinya akan di proses dengan deteksi KNN.
5. Pada proses deteksi KNN, akan dilakukan pencocokan antara ciri uji dan ciri latihan yang ada pada data latihan menggunakan persamaan 2.3.
6. Setelah semua huruf diidentifikasi maka keluaran dari proses identifikasi tersebut berupa teks.
7. Selanjutnya akan dilakukan proses perhitungan CDR.

**4. Pembahasan**

Pada bab ini akan menjelaskan hasil dari pengujian dan analisis sistem *audio watermarking* yang dirancang. Tujuan dilakukannya pengujian dan analisis yaitu untuk mengetahui ketahanan dan kualitas dari sistem audio watermarking yang telah dirancang terhadap berbagai serangan yang diberikan. *Audio watermarking* dirancang menggunakan *host audio* berformat \*.wav dengan *frekuensi sampling* 44100 Hz. *Host audio* yang digunakan pada pengujian sistem dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 1 Data Audio Host**

Host	Audio
1	voice.wav
2	africa-toto.wav
3	beautiful_life-ace_of_base.wav
4	i_ran_so_far_away-flock_of_seagulls.wav
5	temple_of_love-sisters_of_mercy.wav

**4.1 Hasil Uji Ketahanan**

**4.1.1 Hasil Optimal Tanpa Serangan**

Setelah melakukan perubahan parameter N, *Nframe*, *Subband*, dan *alfac* terhadap performansi sistem *audio watermarking*, selanjutnya akan didapatkan parameter optimal yang akan dijadikan sebagai parameter untuk pengujian performansi *audio watermarking* terhadap serangan.

**Tabel 2 Hasil Optimal Tanpa Serangan**

N	Nframe	Subband	$\alpha_c$	ODG	SNR	BER	Segmen tidak terpakai	C	CDR
10	256	1	0.03	-3.87	14.07 dB	0	8.68%	39.33	100%

Subband SMM = 1 dipilih sebagai parameter tetap untuk pengujian ketahanan *audio watermarking* terhadap serangan kompresi MP3 pada frekuensi 64k.

**4.1.2 Ketahanan Audio Terhadap Serangan**

Hasil parameter optimal dapat diketahui setelah melakukan pemberian serangan kompresi MP3 64K di lima *host audio* dengan mengubah nilai *alfac* hingga menemukan nilai ODG, SNR, C, BER dan CDR terbaik. Hasil parameter optimal ketahanan audio watermarking terhadap serangan sebagai berikut.

**Tabel 3 Parameter Optimal Serangan Kompresi MP3 64k**

Host	N	Nframe	Alfac	ODG	SNR	C	Segmen tdk terpakai
Host 1	4	256	0.005	-0.40	17.64 dB	39.07	9.28%
Host 2	4	256	0.002	-0.91	26.00 dB	41.77	3.01%
Host 3	4	256	0.01	0.06	19.48 dB	38.02	11.88%
Host 4	4	256	0.005	-1.03	28.04 dB	41.68	3.93%
Host 5	4	256	0.008	-0.42	31.94 dB	42.05	2.37%

**Tabel 4 BER dan CDR Parameter Optimal Serangan Kompresi MP3 64k**

HOST	BER			CDR		
	Tanpa Serangan	MP3 64k	Rata-rata	Tanpa Serangan	MP3 64k	Rata-rata
Host 1	0	0.04	0.02	100%	100%	100%
Host 2	0	0.14	0.06	100%	100%	100%
Host 3	0	0	0	100%	100%	100%
Host 4	0	0.10	0.05	100%	100%	100%
Host 5	0	0.02	0.01	100%	100%	100%

**4.1.3 Ketahanan Audio Terhadap Semua Serangan**

Pada bagian ini akan ditunjukkan mengenai analisis ketahanan sistem *audio watermarking* yang dirancang terhadap berbagai macam serangan pengolahan sinyal dengan parameter optimal yang telah didapatkan pada pengujian sebelumnya. Hasil BER rata-rata serta CDR rata-rata setiap host audio akan ditampilkan pada Tabel 7.

**Tabel 5 BER Rata-Rata Setelah Diberi Serangan**

Host	BER rata-rata	CDR rata-rata
------	---------------	---------------

voice.wav	0.20	73%
africa-toto.wav	0.27	65%
beautiful_life-ace_of_base.wav	0.17	81%
i_ran_so_far_awayflock_of_seagulls.wav	0.23	69%
temple_of_love-sisters_of_mercy.wav	0.20	74%

Berdasarkan Tabel menunjukan bahwa sistem tahan terhadap seluruh serangan pengolahan sinyal yang telah diberikan.

**4.1.4 Watermark Hasil Ekstraksi**

Proses ekstraksi dari pengujian yang telah dilakukan menghasilkan nilai BER yang berbeda-beda untuk setiap audio host. Berikut merupakan hasil ekstraksi *watermark* setelah diberi serangan:

**Tabel 6 Watermark Hasil Ekstraksi**

BER	Gambar Hasil Watermark	CDR (%)
0	DE LA	100%
0.01	DE LA	100%
0.05	DE LA	100%
0.1	DE LA	100%
0.15	DE LA	100%
0.2	DE LA	100%
0.25	DE LA	100%
0.3	DE 9 A	75%
0.35	O E R A	50%
0.4	T B 4 A	25%
0.45	H P R 2	0%
0.5	O M W 4	0%

**4.1.5 Analisis Performansi Audio Watermarking Dengan Penilaian MOS**

MOS merupakan parameter subjektif yang didapatkan berdasarkan opini seseorang ketika mendengarkan lalu membandingkan antara *host audio* dengan *watermarked audio*. Penilaian subjektif ini dilakukan oleh 30 responden dengan berbagai jenis latar belakang. Responden diminta untuk mendengarkan lima audio sebelum disisipi *watermark* dan lima audio yang telah disisipi *watermark*, sehingga setiap responden akan mendengarkan sepuluh audio. Pengujian ini mempunyai skala 1 sampai 5 dimana skala 1 mempunyai arti bahwa kualitas audio sangat buruk sedangkan skala 5 mempunyai arti bahwa kualitas audio sangat baik atau tidak terdengar perbedaan sama sekali antara audio sebelum disisipi dan sesudah disisipi watermark. Untuk hasil rata-rata pengujian MOS sebagai berikut.

**Tabel 7 Hasil Rata-rata MOS**

Host	Rata-rata MOS
voice.wav	4.07
africa-toto.wav	4.03
beautiful_life-ace_of_base.wav	4.50
i_ran_so_far_away-flock_of_seagulls.wav	4.13
temple_of_love-sisters_of_mercy.wav	4.37

**4.1.6 Perbandingan Hasil Antara Metode**

Pada subbab ini akan dilakukan perbandingan performansi sistem audio *watermarking* antara metode yang diusulkan dengan metode yang telah dilakukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Berikut perbandingan performansi antara metode yang diusulkan dengan metode dalam referensi [2], [1], [9], [10], dan [11] pada Tabel 10 dan 11:

**Tabel 8 Perbandingan Hasil ODG, SNR dan Payload Antara Metode**

Ref	ODG	SNR	Payload
[2]	-0.6	31 dB	5.38 bps
[1]	-	20 dB	-
[9]	-	22 dB	176.4 bps
[10]	-0.36	41.17 dB	1600 bps

[11]	-1.51	32.72 dB	21.43 bps
<b>Proposed</b>	<b>-0.42</b>	<b>31.94 dB</b>	<b>42.04 bps</b>

Tabel 9 Perbandingan BER Antara Metode

Ref	BER (%)							
	AWGN 30 dB	Normalizer	LPF 3k	BPF 100-6k	Equalizer	MP3 32k	MP3 64k	Resampling 22.05k
[2]	-	-	0%	56%	48%	13.00%	7%	0%
[1]	0%	-	0%	-	-	33.00%	33%	2%
[9]	0.50%	-	-	-	-	-	-	0%
[10]	-	1%	0%	-	-	-	0%	0%
[11]	-	-	-	-	-	-	9%	0%
<b>Prop (BER)</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>48.79%</b>	<b>43.56%</b>	<b>3.26%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>Prop (CDR)</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>50%</b>	<b>75%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis sistem yang dirancang pada Tugas Akhir ini, maka dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang berhasil mendapatkan parameter terbaik yaitu Subband SMM bernilai 1, N bernilai 4, serta Nframe bernilai 256. Pengujian ketahanan sistem terhadap berbagai serangan dengan menggunakan teknik SMM secara objektif untuk parameter optimal mendapatkan kualitas audio yang cukup baik, yaitu dengan nilai ODG berada pada rentang -1.03 sampai 0.06, nilai SNR berada pada rentang 17.64 dB sampai 31.94 dB dan *payload* 42.05 bps. Sistem audio watermarking yang dirancang setelah diberikan berbagai macam serangan berhasil mendapatkan BER rata-rata terendah yaitu 17 % serta CDR rata-rata tertinggi yaitu 81%. Pengujian sistem audio watermarking secara subjektif dengan melakukan survei kepada 30 responden mendapatkan hasil yang baik, yaitu nilai rata-rata MOS tertinggi adalah 4.50.

Referensi

[1] V. Bhat K, I. Sengupta, and A. Das, "Audio watermarking based on mean quantization in cepstrum domain," *Proc. 2008 16th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. ADCOM 2008*, pp. 73–77, 2008.

[2] 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.*, vol. 6, no. 2, p. 165, 2018.

[3] A. M. Ismail, "Cara Kerja Algoritma k-Nearest Neighbor (k-NN)," *Https://Medium.Com*, no. February, pp. 0–5, 2018.

[4] M. Wijayanti, A. Sanjaya, and D. Pamungkas P, "IMPLEMENTASI TEMPLATE MATCHING CORRELATION DAN K – NEAREST NEIGHBOR UNTUK MENDETEKSI HUKUM BACAAN TAJWID PADA CITRA TULISAN AL-QUR'AN," *Persepsi Masy. Terhadap Perawatan Ortod. Yang Dilakukan Oleh Pihak Non Prof.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.

[5] R. S. Bahri and I. Maliki, "Perbandingan Algoritma Template Matching Dan Feature Extraction Pada Optical Character Recognition," *J. Komput. dan Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–35, 2012.

[6] R. Pranadipa, V. Novitasari, M. Kurniawati, N. Puspitasari, and Y. Bonita, "Pengenalan Angka Pada Plat Nomor Dengan Metode Template Matching," *Univ. Brawijaya*, pp. 1–7, 2012.

[7] Y. Lin and W. H. Lin, *Audio watermark: A comprehensive foundation using MATLAB*. 2015.

[8] H. Y. Wang, J. H. Huang, and Y. C. Tseng, "A new method for objective measurement of perceived audio quality," *2017 ICMC/EMW - 43rd Int. Comput. Music Conf. 6th Int. Electron. Music Week*, pp. 427–431, 2017.

[9] B. M. Mushgil, W. A. W. Adnan, S. A. R. Al-Hadad, and S. M. S. Ahmad, "An efficient selective method for audio watermarking against de-synchronization attacks," *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 476–484, 2018.

[10] H. Latifpour, M. Mosleh, and M. Kheyrandish, "An intelligent audio watermarking based on KNN learning algorithm," *Int. J. Speech Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 697–706, 2015.

[11] F. Adhanadi, L. Novamizanti, and G. Budiman, "DWT-SMM-based audio steganography with RSA encryption and compressive sampling," *Telkommika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 18, no. 2, pp. 1095–1104, 2020.