

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/360097609>

Reversible Data Hiding pada Audio Digital Berbasis Difference Expansion

Article · January 2022

DOI: 10.15548/Isrj.v2i01

CITATIONS

0

READS

3

3 authors, including:



Aulia Arham

Universitas Islam Negeri Imam Bonjol, Indonesia, Padang

6 PUBLICATIONS 66 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Reversible Data Hiding [View project](#)

Reversible Data Hiding pada Audio Digital Berbasis Difference Expansion

Aulia Arham¹, Rahmawati², Ozzy Secio Riza³

¹²³Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Imam Bonjol Padang
Kampus III Universitas Islam Negeri Imam Bonjol Padang,
Sungai Bangek, Koto Tangah, Padang, West Sumatera, Indonesia
auliaarham@uinib.ac.id¹, adhea.rahma@uinib.ac.id², ozzysecio@uinib.ac.id³

Diterima: 30 Aug 2021 | Direvisi: 04 Sep 2021

Disetujui: 06 Sep 2021 | Dipublikasi: 20 Sep 2021

Abstrak

Metode penyisipan data pada media lain berkembang dengan pesat beberapa tahun terakhir, skema penyisipan data secara konvensional dapat menyebabkan kerusakan secara permanen (*irreversible*) setelah proses ekstraksi pada media penyisipannya. Dalam beberapa aplikasi seperti diagnosis medis, penegakan hukum, dan militer, mengembalikan media penyisipannya menjadi media asli setelah proses ekstraksi data merupakan hal penting, skema penyisipan data yang dapat menangani kasus seperti ini disebut *reversible*. *Difference expansion* adalah salah satu skema *reversible data hiding* yang sederhana dan mudah diimplementasikan. Dalam penelitian ini kami mengusulkan penyisipan data pada media audio menggunakan skema *reversible data hiding* berbasis *difference expansion* yang berfokus pada peningkatan kapasitas penyisipan dan kualitas *media-carrier* setelah proses penyisipan dengan mereduksi nilai selisih data dengan skema *Improve Reduce Difference Expansion* (IRDE). Skema yang diusulkan telah di evaluasi dengan empat file audio WAV dengan jenis yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, skema yang diusulkan memiliki kapasitas dan kualitas audio yang baik.

Kata kunci: *Penyidipan data, reversible data hiding, difference expansion, improve reversible data hiding, Audio WAV*

Abstract

The method of data hiding on other media has developed rapidly in recent years, the conventional data hiding schemes can cause a permanent distortion (irreversible) after the extraction process in the media

carrier. In some applications such as medical diagnosis, law enforcement, and the military, it is important to return the media carrier to the original form after the data extraction process, the data embedding scheme that can handle cases like this is called reversible. Difference expansion is simple and easy to implement in reversible data hiding scheme. In this study, we propose the embedding of data on audio media using a reversible data hiding scheme based on difference expansion which focuses on increasing the embedding capacity and quality of the media-carrier after the embedding process by reducing the value of the data difference with the Improve Reduce Difference Expansion (IRDE) scheme. The proposed scheme has been evaluated with four WAV audio files of different types. The results show that the proposed scheme has a good audio capacity and quality.

Keywords: *data hiding, reversible data hiding, difference expansion, improve reversible data hiding WAV audio*

I. PENDAHULUAN

Data hiding merupakan proses penyisipan data pada media lain, penyisipan data berhubungan dengan dua set data yaitu satu set data yang disisipkan dan satu set data sebagai media penyisipan [1]. Penyisipan data secara konvensional seperti *Least Significant Bits* (LSB) atau penyisipan data pada domain frekuensi menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Discrete Fourier Transform* (DFT) atau *Discrete Cosine Transform* (DCT) [2] dapat menyebabkan kerusakan pada media penyisipan

secara permanen dan tidak dapat dikembalikan lagi ke bentuk aslinya.

Beberapa tahun terakhir teknik penyisipan data berfokus pada penggunaan metode *reversible data hiding* (RDH) dimana metode ini memenuhi persyaratan secara bersamaan yaitu aman dan dapat mengembalikan media penyisipan ke bentuk asli (*reversible*) [3]–[5]. Metode RDH mendapatkan perhatian lebih beberapa tahun terakhir ini, dikarenakan aplikasinya yang meningkat di bidang diagnosa medis, penegakan hukum, dan militer.

Difference Expansion (DE) adalah salah satu skema reversible data hiding yang pertama kali diperkenalkan oleh Tian [6], skema ini memiliki kompleksitas yang rendah namun mampu memberikan kapasitas penyisipan yang cukup besar. Metode ini menyisipkan bit data pada selisih pasangan data piksel gambar dengan tetap menjaga nilai rata-rata dari pasangan piksel tersebut. Kemudian Alattar [7] mengembangkan skema DE dengan menambahkan jumlah piksel gambar dari dua menjadi tiga, kemudian Alattar [8] meningkatkan jumlah piksel kembali menjadi 4 yang terbukti dapat meningkatkan kapasitas penyisipan. Kemudian pada tahun 2007 Liu dkk [9] mengusulkan skema baru yang bertujuan untuk mereduksi nilai ekspansi yang disebabkan oleh skema DE yang disebut dengan *Reduce Difference Expansion*, skema ini terbukti dapat meningkatkan kapasitas penyisipan dan kualitas visual. Kemudian pada tahun 2009 Yi dkk [10] mengusulkan skema baru dalam mereduksi ekspansi dari skema DE yang disebut dengan *Improve Reduce Difference Expansion*, skema ini memiliki kapasitas penyisipan dan kualitas visual yang lebih baik dari pada skema yang diusulkan oleh Liu dkk [9].

Pada tahun 2008 Yan dan Wang [11] mengusulkan sebuah metode *reversible data hiding* pada audio digital berbasis pada *Prediction Error Expansion*, metode ini memberikan kapasitas penyisipan yang tinggi namun bergantung pada korelasi sample audio aslinya. Pada tahun 2016 Angreni [12] mengusulkan metode *reversible data hiding* pada audio digital berbasis *Random Reduce Difference Expansion*, metode yang diusulkan ini memiliki kapasitas penyisipan yang tinggi namun *location map* yang dihasilkan cukup tinggi dan memiliki redundansi yang rendah sehingga tidak dapat dilakukan kompresi.

Skema *reversible data hiding* yang diusulkan sebelumnya telah memiliki kemampuan *reversible* dengan kapasitas penyisipan yang tinggi pada media gambar, namun pada file audio skema *reversible data hiding* masih terdapat dua hal yang dapat ditingkatkan yaitu: *similarity* (kesamaan antara *cover-media* dengan *stego-media*) dan kapasitas data yang dapat disisipkan. Pada penelitian ini, kami bertujuan untuk mendapatkan skema penyisipan data pada file audio yang dapat mencapai kapasitas penyisipan yang besar dengan tetap menjaga kualitas audio yang baik. Kami mengusulkan sebuah skema *reversible data hiding* pada file audio berbasis *difference expansion* dengan kompleksitas yang rendah namun mampu memberikan kapasitas penyisipan yang cukup besar dengan cara mereduksi nilai selisih data dengan skema *Improve Reduce Difference Expansion* (IRDE).

Artikel ini disusun sebagai berikut. Bagian II menjelaskan studi yang terkait dengan skema yang diusulkan. Algoritma yang diusulkan dan karakteristiknya dijelaskan di Bagian III. Hasil eksperimen ditampilkan di Bagian IV. Terakhir, hasilnya dibahas dan disimpulkan di Bagian V.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Reversible Data Hiding

Data hiding adalah sebuah proses menyisipkan data pada media lain dapat berupa gambar, audio, dan lain sebagainya. Proses penyisipan data berhubungan dengan dua set data yaitu satu set data sebagai media penyisipan dan satu set data yang akan disisipkan, dalam banyak kasus, penyisipan data pada media lain akan menyebabkan kerusakan secara permanen (*irreversible*) dan tidak dapat dilakukan pemulihan menjadi bentuk aslinya. Di beberapa aplikasi seperti diagnosa kesehatan, penegakan hukum, dan militer sangat penting untuk dapat mengembalikan kembali media penyisipan ke bentuk aslinya setelah proses ekstraksi [13]. *Reversible data hiding* adalah teknik yang dapat mengembalikan media penyisipan ke bentuk aslinya setelah proses ekstraksi dengan tetap menjaga kedua set data tetap utuh, metode ini juga disebut dengan *invertible, distortion-free, lossless*, atau reversible data hiding

B. Reversible Data Hiding Berbasis *Difference Expansion*

Reversible data hiding berbasis *difference expansion* pertama kali diperkenalkan oleh Tian [6], metode ini diimplementasikan pada media

gambar dengan memanfaatkan selisih pasangan piksel yang bersebelahan untuk menyisipkan data dengan tetap menjaga nilai rata-ratanya. Nilai pasangan piksel yang saling bersebelahan adalah u_1 dan u_2 yang merupakan 8 bit gambar *grayscale* dengan $0 \leq u_1, u_2 \leq 255$, dengan selisih piksel v dan rata-rata m dari sepasang piksel yang didefinisikan dengan (1).

$$m = \frac{u_1 + u_2}{2}, \quad v = u_1 - u_2 \quad (1)$$

Ekspansi dilakukan pada selisih piksel v dengan menambahkan bit data b yang merupakan data yang disisipkan, ekspansi untuk penyisipan data dilakukan berdasarkan (2)

$$\tilde{v} = 2 \times v + b \quad (2)$$

Ekspansi yang telah dilakukan pada selisih piksel \tilde{v} yang telah ditambahkan data selanjutnya digunakan untuk menghitung piksel baru pada gambar. Rata-rata piksel sebelumnya yaitu m digunakan untuk membentuk piksel baru seperti pada (3).

$$\tilde{u}_1 = m + \frac{\tilde{v} + 1}{2}, \quad \tilde{u}_2 = m - \left\lfloor \frac{\tilde{v}}{2} \right\rfloor \quad (3)$$

Overflow (piksel baru lebih besar dari 255) dan *underflow* (piksel baru lebih kecil dari 0) dapat terjadi pada piksel baru \tilde{u}_1 dan \tilde{u}_2 , untuk mengatasi hal tersebut, maka persyaratan pada persamaan (4) harus dipenuhi oleh selisih pasangan piksel baru yang sudah mengandung data.

$$\begin{cases} |\tilde{v}| \leq 2 \times (255 - m), & \text{if } 128 \leq m \leq 255 \\ |\tilde{v}| \leq 2 \times m + 1, & \text{if } 0 \leq m \leq 127 \end{cases} \quad (4)$$

Secara teoritis maksimum kapasitas penyisipan pada skema *Difference Expansion* adalah 0,5 bit per data. Kurangnya kontrol kapasitas penyisipan disebabkan karena *location map* yang terkompresi memanfaatkan sebagian besar kapasitas penyisipan menjadi kelemahan utama skema ini.

C. Difference Expansion of Quad

Skema *Reversible Data Hiding* yang diusulkan oleh Alattar [8] berbasis pada blok 2x2 yang terdiri dari 4 piksel, masing-masing piksel diperoleh dari piksel yang bersebelahan sehingga menghasilkan sebuah blok $u = (u_1, u_2, u_3, u_4)$, kemudian menghitung selisih nilai vektor tersebut menggunakan persamaan (5) yang menghasilkan vektor $v = (v_0, v_1, v_2, v_3)$.

$$\begin{cases} v_0 = \left\lfloor \frac{u_0 + u_1 + u_2 + u_3}{4} \right\rfloor \\ v_1 = u_1 - u_0 \\ v_2 = u_2 - u_1 \\ v_3 = u_3 - u_2 \end{cases} \quad (5)$$

Persamaan (6) digunakan untuk membentuk kembali *media-carrier* menjadi bentuk aslinya.

$$\begin{cases} u_0 = v_0 - \left\lfloor \frac{3v_1 + 2v_2 + v_3}{4} \right\rfloor \\ u_1 = v_1 + u_0 \\ u_2 = v_2 + u_1 \\ u_3 = v_3 + u_2 \end{cases} \quad (6)$$

Penyisipan bit data b_i dilakukan dengan persamaan (7) dan (8), persamaan (7) digunakan untuk penyisipan data pada blok yang diklasifikasikan sebagai *expandable*, kemudian persamaan (8) digunakan apabila pada proses penyisipan dengan persamaan (7) mengalami *overflow* atau *underflow* dan diklasifikasikan sebagai blok *changeable*. Blok yang tidak dapat melakukan penyisipan dengan persamaan (7) dan (8) diklasifikasikan sebagai blok *unchangeable*.

$$\begin{cases} \tilde{v}_1 = 2 \times v_1 + b_1 \\ \tilde{v}_2 = 2 \times v_2 + b_2 \\ \tilde{v}_3 = 2 \times v_3 + b_3 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \tilde{v}_1 = 2 \times \left\lfloor \frac{v_1}{2} \right\rfloor + b_1 \\ \tilde{v}_2 = 2 \times \left\lfloor \frac{v_2}{2} \right\rfloor + b_2 \\ \tilde{v}_3 = 2 \times \left\lfloor \frac{v_3}{2} \right\rfloor + b_3 \end{cases} \quad (8)$$

Untuk menghindari terjadinya *overflow* dan *underflow*, selisih piksel yang telah disisipi oleh bit data b_i harus memenuhi syarat sesuai pada persamaan (9)

$$\begin{cases} 0 \leq v_0 - \left\lfloor \frac{\tilde{v}_1 + \tilde{v}_2 + \tilde{v}_3}{4} \right\rfloor \leq 255 \\ 0 \leq \tilde{v}_1 + u_0 \leq 255 \\ 0 \leq \tilde{v}_2 + u_1 \leq 255 \\ 0 \leq \tilde{v}_3 + u_2 \leq 255 \end{cases} \quad (9)$$

Persamaan (10) digunakan untuk membentuk piksel baru u'_i yang telah disisipkan bit data b_i

$$\begin{cases} \tilde{u}_0 = u_0 \\ \tilde{u}_1 = \tilde{v}_1 + \tilde{u}_0 \\ \tilde{u}_2 = \tilde{v}_2 + \tilde{u}_1 \\ \tilde{u}_3 = \tilde{v}_3 + \tilde{u}_2 \end{cases} \quad (10)$$

D. Improved Reduced Difference Expansion (IRDE)

Pada tahun 2009 Yi dkk [10] mengusulkan sebuah skema baru untuk mereduksi nilai ekspansi dari skema *Difference Expansion* yang diusulkan oleh Tian [6] yang disebut dengan *Improve Reduce Difference Expansion* (IRDE). Proses reduksi dilakukan pada selisih padangan piksel dari skema DE sebelum penyisipan data dilakukan. Reduksi selisih nilai piksel tersebut dilakukan sesuai dengan (11)

$$\tilde{v}_1 = \begin{cases} v_i - 2^{\log_2|v|-1}, & \text{if } 2 \times 2^{n-1} \leq v_i \leq 3 \times 2^{n-1} - 1 \\ v_i - 2^{\log_2|v|}, & \text{if } 3 \times 2^{n-1} \leq v_i \leq 4 \times 2^{n-1} - 1 \end{cases} \quad (11)$$

$$n = \lfloor 2^{\log_2|v|-1} \rfloor \quad (12)$$

Proses reduksi nilai selisih dari pasangan piksel tersebut akan menghasilkan *location map* berdasarkan persamaan (13), dimana *location map* ini nantinya akan digunakan untuk proses ekstraksi dan mengembalikan media-carrier menjadi bentuk aslinya.

$$LM = \begin{cases} 0, & \text{if } 2 \times 2^{n-1} \leq v_i \leq 3 \times 2^{n-1} - 1 \\ 1, & \text{if } 3 \times 2^{n-1} \leq v_i \leq 4 \times 2^{n-1} - 1 \end{cases} \quad (13)$$

Mengembalikan nilai selisih pasangan piksel dilakukan dengan persamaan (14) berdasarkan *location map*.

$$v = \begin{cases} \tilde{v} + 2^{\log_2|\tilde{v}|+1}, & \text{if } LM = 1 \\ \tilde{v} + 2^{\log_2|\tilde{v}|}, & \text{if } LM = 0 \end{cases} \quad (14)$$

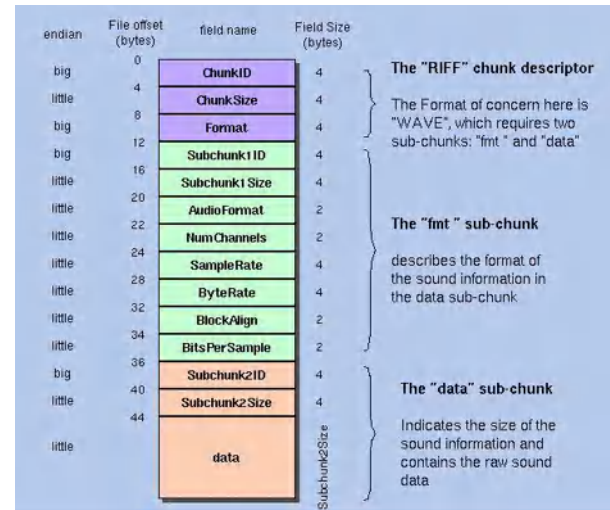
Hasil penelitian yang dilakukan oleh Yi dkk [10] membuktikan bahwa kapasitas penyisipan dan kualitas visual yang dihasilkan dari skema IRDE lebih baik dari pada RDE yang diusulkan oleh Liu dkk [9]

E. File Audio WAV

Waveform Audio Format yang disingkat dengan WAV merupakan file audio dengan kualitas tinggi seperti CD (*Compact Disc*), aplikasi audio yang membutuhkan tingkat kejernihan tinggi menggunakan file audio ini. File WAV memiliki ukuran file yang relatif lebih besar dibandingkan file audio lainnya dengan durasi yang sama karena file WAV tidak terkompresi, dengan tingkat kedetilan yang paling tinggi dibandingkan file audio lainnya. Sebagai perbandingan, untuk 1 menit rekaman suara file MP3 membutuhkan sekitar 1MB data, sedangkan file WAV membutuhkan sekitar 10MB untuk setiap menitnya. Format data di file WAV dapat dilihat pada gambar 1.

Header file WAV (RIFF) memiliki panjang 44 byte data dimana byte 1 sampai 4 dengan *sample value* "RIFF" merupakan penanda file sebagai file

RIFF, karakter masing-masing memiliki panjang 1 byte. Byte 5 sampai 8 merupakan ukuran file keseluruhan, byte 9 sampai 12 dengan *sample value* "WAVE" merupakan jenis file untuk file WAV, byte 13 sampai 16 dengan *sample value* "fmt" merupakan format penanda *chunk*, byte 17 sampai 20 dengan *sample value* "16" merupakan panjang format data, byte 21 sampai 22 dengan *sample value* "1" merupakan jenis format (1 adalah OCM), byte 23 sampai 24 dengan *sample value* "2" merupakan jumlah *channel*, byte 25 sampai 28 dengan *sample value* "44100" merupakan *sample rate* (jumlah sampel per detik) atau Hertz, byte 29 sampai 32 dengan *sample value* "176400" merupakan jumlah $(\text{BitsPerSample} * \text{BitsPerSample} * \text{Channels})/8$. Byte 33 sampai 34 merupakan $(\text{BitsPerSample} * \text{Channels}) / 8.1 - 8$ bit mono2 - 8 bit stereo/16 bit mono4 - 16 bit stereo, byte 35 sampai 36 merupakan Bits Per Sample, byte 37 sampai 40 dengan *sample value* "Data" merupakan penanda awal bagian data, byte 41 sampai 44 merupakan ukuran dari bagian data.



Gambar 1. Format Data WAV

Bitrate, *samplerate* dan jumlah *channel* merupakan penentu dari kualitas file WAV. *Bitrate* adalah jumlah bit pada setiap sampelnya, yaitu 8-bits, 16-bits, 24 bits atau 23 bits. Untuk 8-bits, file WAV membutuhkan 1 byted data dengan rentang nilai antara -128 sampai 127, sedangkan 16-bits membutuhkan 2 byte, dengan rentang nilai antara -32768 sampai 32767. File WAV 16-bit menghasilkan suara yang lebih baik dari pada file WAV 8-bit. *Samplerate* adalah jumlah sampel yang dimainkan dalam setiap detik. Ukuran *samplerate* yang dipakai adalah 8000Hz, 11025Hz, 22050Hz, dan 44100Hz. *Channel* adalah jumlah *channel* dari file WAV yaitu mono

untuk 1 *channel* dan stereo untuk 2 *channel*. Jumlah data yang dibutuhkan oleh file WAV stereo dua kali lebih banyak dari pada file WAV mono.

III. METODE YANG DIUSULKAN

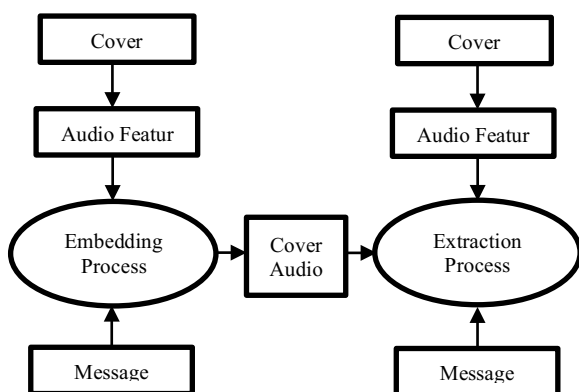
Metode yang diusulkan adalah penyisipan data pada file audio WAV dengan skema *reversible data hiding* berbasis *difference expansion*. Metode ini akan menyisipkan data pada blok data audio pada file WAV yang berdekatan menggunakan skema yang diusulkan oleh Tian [6]. Skema *Improve Reduce Difference Expansion* digunakan untuk mereduksi nilai ekspansi dari skema *Difference Expansion* yang diusulkan Tian [6]. Blok data audio untuk penyisipan seperti pada gambar 2.

Penyisipan pada file audio WAV dapat dilakukan pada byte ke-45, hal itu dikarenakan 44 byte pertama merupakan *header* dari file audio WAV sehingga tidak dapat dilakukan penyisipan data. Prosedur penyisipan dan ekstraksi data dapat di lihat pada gambar 3.

u_0	u_1
u_2	u_3

$$u_0 = (u_0, u_1, u_2, u_3)$$

Gambar 2. Blok data penyisipan



Gambar 3. Prosedur penyisipan dan ekstraksi

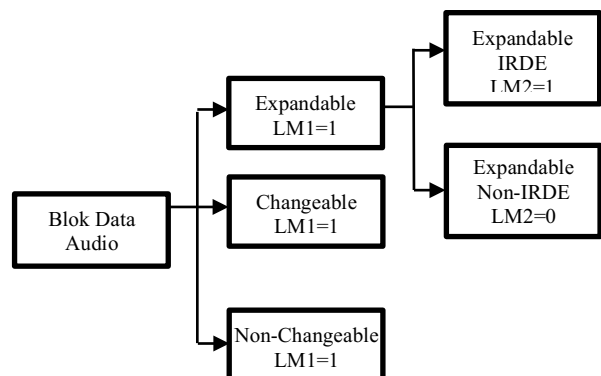
A. Proses Penyisipan dan Pembentukan Audio

1. Membaca file audio kemudian membentuk blok 2 x 2
2. Setiap blok dirubah menjadi vektor $u = (u_0, u_1, u_2, u_3)$, dan dihitung selisih nilai dari vektor berdasarkan persamaan (5) yang menghasilkan vektor $v = (v_0, v_1, v_2, v_3)$.

3. Selanjutnya dilakukan reduksi dengan skema IRDE pada setiap nilai selisih pada vektor v menggunakan persamaan (11).
4. Kemudian mengklasifikasikan blok kedalam tiga kategori yaitu *expandable*, *changeable* atau *non-changeable*
5. Membentuk *location map* yang dihasilkan dari langkah 3 dan 4, pembentukan *location map* seperti pada gambar 4
6. Melakukan penyisipan data pada blok yang dikategorikan *expandable* atau *changeable*.
7. Membentuk kembali data baru sesuai dengan persamaan (10)
8. Membuat file audio baru

B. Proses Ekstraksi dan Pemulihan Audio

1. Membaca file audio kemudian membentuk blok 2 x 2
2. Setiap blok dirubah menjadi vektor $u = (u_0, u_1, u_2, u_3)$, dan dihitung selisih nilai dari vektor berdasarkan persamaan (5) yang menghasilkan vektor $v = (v_0, v_1, v_2, v_3)$.
3. Gunakan *location map* yang dihasilkan pada proses embedding untuk menentukan kategori blok yaitu *expandable*, *changeable* atau *non-changeable*
4. Kemudian mengekstrak bit data yang disisipkan
5. Gunakan kembali *location map* untuk mengembalikan blok data menjadi bentuk aslinya
6. Menghitung *difference value* asli
7. Membentuk file audio asli



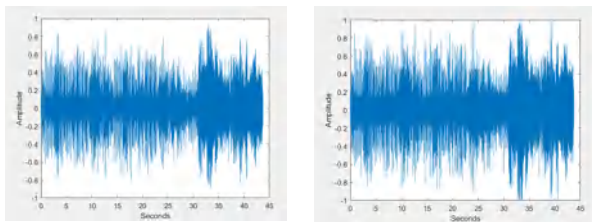
Gambar 4. Pembentukan *Location Map*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

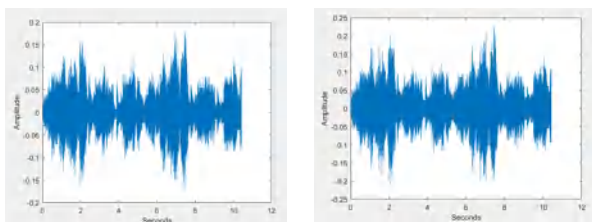
Proses pengujian skema yang diusulkan dilakukan dengan menyisipkan data secara random pada empat file audio WAV yang berbeda

seperti pada gambar 5, detail informasi tentang ke-empat file audio WAV yang digunakan dapat dilihat pada tabel I. Pengujian dilakukan untuk melihat dan membandingkan kapasitas penyisipan dan kualitas audio yang dihasilkan setelah proses penyisipan. Evaluasi kualitas audio dilakukan dengan menyisipkan data secara random dengan 8 skema yang penyisipan yaitu mulai dari 0.1 bit per sample(bps) sampai dengan 0.7 bit per sample (bps) dan penyisipan secara maksimal.

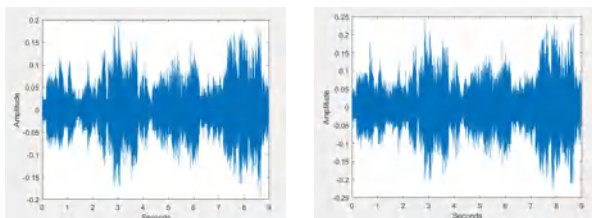
Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dengan persamaan (15) digunakan untuk menghitung *similarity* dari *stego-audio* dan *cover-audio* yang digunakan. Tingkat *similarity* yang baik ditunjukkan dengan nilai PSNR yang tinggi atau mendekati aslinya, sedangkan nilai MSE yang tinggi menunjukkan tingkat *similarity* yang rendah.



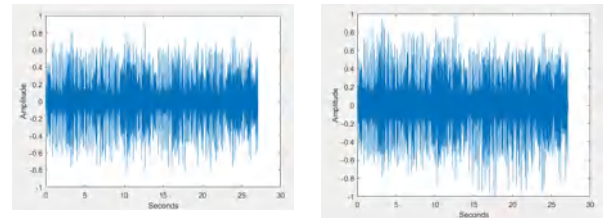
(a.1). Sebelum Penyisipan (a.2). Setelah Penyisipan
(a). Audio 8-bit 8000Hz



(b.1). Sebelum Penyisipan (b.2). Setelah Penyisipan
(b). Audio 8-bit 16000Hz



(c.1). Sebelum Penyisipan (c.2). Setelah Penyisipan
(c). Audio 8-bit 22050Hz



(d.1). Sebelum Penyisipan (d.2). Setelah Penyisipan
(d). Audio 8-bit 32000Hz

Gambar 5. File Audio yang digunakan sebelum dan setelah penyisipan

$$PSNR(I, I_W) = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{MSE(I, I_W)}} \quad (15)$$

$$MSE(I, I_W) = \frac{1}{m \times n} \sum_i^{m-1} \sum_j^{n-1} |I(i, j) - I_W(i, j)|^2 \quad (16)$$

Dimana I adalah data asli, I_W adalah *stego-audio*, μ_I dan μ_{I_W} adalah rata-rata dari I dan I_W , σ_I^2 dan $\sigma_{I_W}^2$ adalah varian dari I dan I_W .

Hasil percobaan yang dilakukan menunjukan bahwa kapasitas penyisipan pada skema yang diusulkan sangat tinggi dimana rata-rata kapasitas penyisipan dari ke-empat data audio yang digunakan adalah 0.74 bit per sample(bps) kapasitas penyisipan tertinggi terdapat pada audio 8-bit 16000hz dan 8-bit 22050Hz yaitu 0.75 bit per sample (bps) dapat dilihat pada tabel II. Secara teoritis kapasitas penyisipan maksimal dari algoritma yang diusulkan adalah 0.75 bit per sample (bps). Berdasarkan hasil percobaan yang diperoleh, terlihat bahwa dengan melakukan reduksi terhadap skema *Difference Expansion* (DE) yang diusulkan Tian [6] dengan menggunakan skema *Improve Reduce Difference Expansion* (IRDE) yang diusulkan Yi dkk [10] pada file audio WAV dapat meningkatkan kapasitas penyisipan hingga mencapai kapasitas penyisipan maksimal secara teoritis pada penggabungan kedua skema tersebut.

TABEL I. DETAIL FILE AUDIO YANG DIGUNAKAN

Audio File	NumChannels	SampleRate	TotalSample
8-bit 8000Hz	1	8000	349786
8-bit 16000Hz	1	16000	166817
8-bit 22050Hz	1	22050	197632
8-bit 32000Hz	1	32000	868984

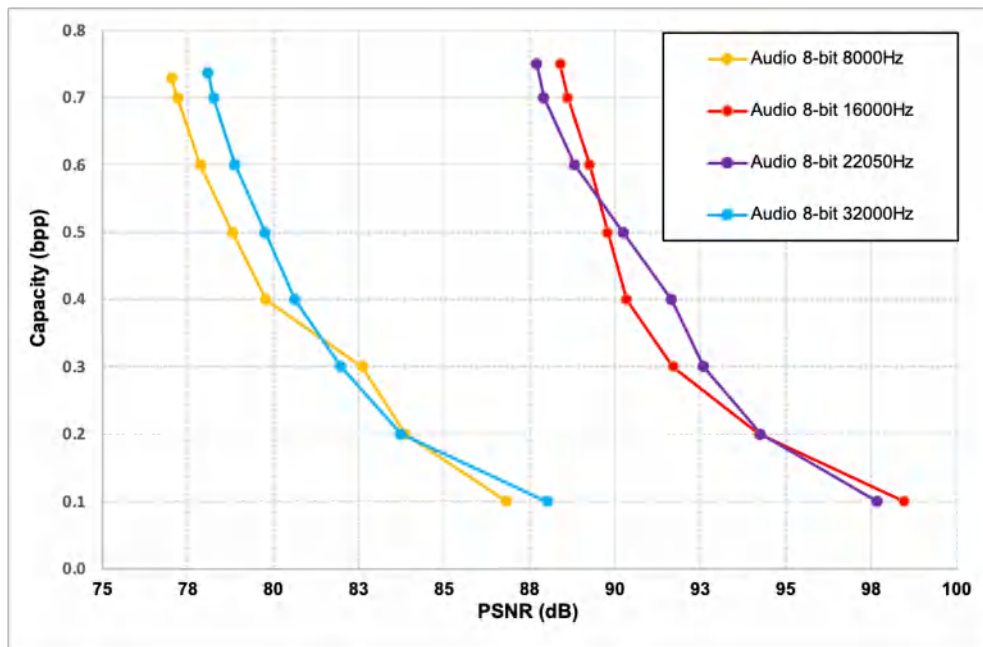
TABEL II. PERBANDINGAN ANTARA KAPASITAS PENYISIPAN DAN WAKTU KOMPUTASI (T = 30)

Audio File	Kapasitas Penyisipan		TotalSample (Second)
	Bits	Bit Per Sample	
8-bit 8000Hz	255153	0.7295	72.5315
8-bit 16000Hz	125112	0.7500	34.4375
8-bit 22050Hz	148224	0.7500	42.2813
8-bit 32000Hz	640266	0.7368	179.9375

TABEL III. PERBANDINGAN ANTARA KAPASITAS P

ENYISIPAN DAN KUALITAS AUDIO (T = 30)

Audio File	PSNR (dB)							
	@0.1bps	@0.2bps	@0.3bps	@0.4bps	@0.5bps	@0.6bps	@0.7bps	@Max
8-bit 8000Hz	86.83	83.85	82.61	79.79	78.81	77.87	77.20	77.02
8-bit 16000Hz	98.48	94.21	91.71	90.34	89.78	89.26	88.62	88.40
8-bit 22050Hz	97.69	94.25	92.59	91.66	90.23	88.82	87.91	87.71
8-bit 32000Hz	88.02	83.74	81.98	80.64	79.76	78.89	78.26	78.09



Gambar 6. Perbandingan Kapasitas Penyisipan dan Kualitas Audio

Secara visual, gelombang suara yang dihasilkan setelah proses penyisipan juga tidak berubah secara signifikan atau bisa dikatakan jika gelombang suara yang dihasilkan setelah proses penyisipan hampir sama dengan gelombang suara sebelum proses penyisipan dapat dilihat pada gambar 5. Berdasarkan nilai PSNR, kualitas audio setelah proses penyisipan juga terlihat sangat baik hal ini dapat dilihat pada tabel III dan gambar 6, nilai rata-rata PSNR yang dihasilkan dari keempat data audio adalah 82.81 dB, ini

membuktikan bahwa kualitas audio setelah proses penyisipan sangat baik.

V. KESIMPULAN

Beberapa tahun terakhir metode penyisipan data pada media lain berkembang dengan pesat, penyisipan data secara konvensional seperti *Least Significant Bits* (LSB) atau penyisipan data pada domain frekuensi menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Discrete Fourier Transform* (DFT) atau *Discrete Cosine Transform* (DCT) [2]

dapat menyebabkan media penyisipan data mengalami kerusakan secara permanen setelah proses penyisipan, beberapa aplikasi seperti diagnosa medis, penegakan hukum, dan militer, mengembalikan media penyisipannya menjadi media asli setelah proses ekstraksi data merupakan hal penting.

Pada penelitian ini kami mengusulkan skema penyisipan data pada file audio menggunakan skema *reversible data hiding* berbasis *difference expansion*. skema ini memiliki kompleksitas yang rendah namun mampu memberikan kapasitas penyisipan yang besar dan kualitas audio yang baik setelah proses penyisipan, untuk mencapai tujuan tersebut kami mereduksi nilai selisih data dengan skema *Improve Reduce Difference Expansion* (IRDE). Skema yang diusulkan sederhana dan mudah di implementasikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mampu menyisipkan data pada file audio dengan kapasitas yang besar. Kualitas audio yang dihasilkan setelah proses penyisipan sangat baik, hal itu ditunjukkan dengan gelombang suara yang dihasilkan setelah proses penyisipan tidak berubah secara signifikan atau bisa dikatakan jika gelombang suara yang dihasilkan setelah proses penyisipan hampir sama dengan gelombang suara sebelum proses penyisipan, kemudian nilai PSNR yang dihasilkan juga tinggi.

Pada penelitian selanjutnya, untuk meningkatkan kapasitas penyisipan pada file audio, pada skema *reversible data hiding* dapat dilakukan penyisipan secara berlapis (penyisipan dilakukan berkali-kali) atau disebut juga dengan *Multiple Layer Data Hiding*.

REFERENSI

- [1] Z. Ni, Y.-Q. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible data hiding," *IEEE Trans. circuits Syst. video Technol.*, vol. 16, no. 3, pp. 354–362, 2006.
- [2] A. Arham, H. A. Nugroho, and T. B. Adji, "Combination schemes Reversible Data Hiding for medical images," in *Science and Technology-Computer (ICST), International Conference on*, 2016, pp. 44–49.
- [3] T.-C. Lu and T. N. Vo, "Introduction of Reversible Data Hiding Schemes," in *International Conference on Security with Intelligent Computing and Big-data Services*, 2019, pp. 170–183.
- [4] G. Gao, S. Tong, Z. Xia, B. Wu, L. Xu, and Z. Zhao, "Reversible data hiding with automatic contrast enhancement for medical images," *Signal Processing*, vol. 178, p. 107817, 2021.
- [5] S. Weng, W. Tan, B. Ou, and J.-S. Pan, "Reversible data hiding method for multi-histogram point selection based on improved crisscross optimization algorithm," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 549, pp. 13–33, 2021.
- [6] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 8, pp. 890–896, 2003.
- [7] A. M. Alattar, "Reversible watermark using difference expansion of triplets," in *IEEE International Conference on Image Processing, ICIP'2003*, 2003, vol. 1, pp. I-501–4 vol.1, doi: 10.1109/ICIP.2003.1247008.
- [8] A. M. Alattar, "Reversible watermark using difference expansion of quads," in *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2004, vol. 3, pp. iii-377–80 vol.3, doi: 10.1109/ICASSP.2004.1326560.
- [9] C.-L. Liu, D.-C. Lou, and C.-C. Lee, "Reversible Data Embedding Using Reduced Difference Expansion," in *Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2007, vol. 1, pp. 433–436, doi: 10.1109/IIH-MSP.2007.267.
- [10] H. Yi, S. Wei, and H. Jianjun, "Improved reduced difference expansion based reversible data hiding scheme for digital images," in *International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, 2009, pp. 4–318, doi: 10.1109/ICEMI.2009.5274054.
- [11] D. Yan and R. Wang, "Reversible data hiding for audio based on prediction error expansion," in *2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2008, pp. 249–252.
- [12] D. S. Angreni, "Pengembangan Metode Data Hiding Pada Audio Berbasis Random Reduce Difference Expansion." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [13] A. Arham, H. A. Nugroho, and T. B. Adji, "Multiple Layer Data Hiding Scheme Based on Difference Expansion of Quad," *Signal Processing*, vol. 137, pp. 52–62, 2017, doi: 10.1016/j.sigpro.2017.02.001.