



IMPLEMENTASI AUDIO STEGANOGRAFI MENGGUNAKAN ALGORITMA DISCRETE COSINE TRANSFORM

Moh Azhar Ulum¹⁾, Trihastuti Yuniati²⁾

^{1,2}Program Studi SI Teknik Informatika, Institut Teknologi Telkom Purwokerto

^{1,2}Jl. DI. Panjaitan No.128, Banyumas

Email: ¹18102094@ittelkom-pwt.ac.id, ²trihastuti@ittelkom-pwt.ac.id

Abstract

The data exchange is increasingly felt in the era of massive technological developments. This condition results in data requiring a safe path in the delivery process. However, the current condition of the communication system or public internet is not completely secure because there is a possibility of data interception and manipulation by eavesdroppers. One solution to this problem is to apply steganography. Steganography is the science of hiding messages into other media so that people other than the sender and recipient do not know the existence of the message. In this study, the implementation of the steganography method was carried out by hiding text messages in audio files. Audio files are used in this study with the aim of exploiting gaps in human hearing so that the difference between the initial audio and the audio that has been inserted with the message is blurred. The audio type used is wav, because the wav file contains uncompressed audio, so the file will not be damaged after the message is inserted. The use of the Discrete Cosine Transform (DCT) method was chosen because of its ability to maintain the integrity of the messenger file which resulted in the message being difficult to detect in the steganographic file. Implementation is done using Matlab. The test is carried out using the black box testing method and calculating the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) value using a combination of 8 audio files and 3 sound recordings of various sizes with the message inserted in the form of 6 sample messages of type txt and messages typed directly on the form provided. The results of the black box test show that every feature and button installed in the application can function properly. While the results of the message insertion experiment with a total of 88 test scenarios obtained 7 error scenarios and 81 successes. The error occurs because the size of the inserted data is larger than the duration of the audio to be inserted. PSNR calculation results show that 75.31% of audio files after message insertion have PSNR values above 40dB from a total of 81 successful trials. This shows that the output audio file that has been inserted with a message still has good quality.

Keyword: Audio, Discrete Cosine Transform, Peak Signal to Ratio, Steganography.

Abstrak

Kebebasan pertukaran data semakin terasa di era masifnya perkembangan teknologi. Kondisi ini mengakibatkan data membutuhkan jalur yang aman dalam proses pengirimannya. Namun, kondisi sistem komunikasi atau internet publik yang ada saat ini belum sepenuhnya aman karena terdapat kemungkinan intersepsi dan manipulasi data oleh penyadap. Salah satu solusi untuk permasalahan ini adalah dengan menerapkan steganografi. Steganografi merupakan ilmu untuk menyembunyikan pesan ke dalam media lain agar orang selain pengirim dan penerima tidak mengetahui keberadaan pesan tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan implementasi metode steganografi dengan menyembunyikan pesan teks pada file audio. File audio digunakan dalam penelitian ini dengan tujuan untuk memanfaatkan celah pada pendengaran manusia sehingga perbedaan antara audio awal dan audio yang sudah disisipi pesan menjadi tersamarkan. Jenis audio yang digunakan adalah wav, dikarenakan file wav berisi audio yang tidak terkompresi, sehingga file tidak akan rusak setelah disisipi pesan. Penggunaan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) dipilih karena kemampuannya yang dapat menjaga keutuhan dari file pembawa pesan yang mengakibatkan pesan akan sulit diketahui pada file hasil steganografi. Implementasi dilakukan menggunakan Matlab. Pengujian dilakukan dengan metode *black box testing* dan perhitungan nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) menggunakan kombinasi 8 file audio dan 3 rekaman suara berbagai ukuran dengan pesan yang disisipkan berupa 6 sample pesan bertipe txt serta 2 pesan yang diketikkan langsung pada form yang disediakan. Hasil pengujian black box menunjukkan bahwa setiap fitur dan tombol yang terpasang pada aplikasi dapat berfungsi dengan baik. Sedangkan hasil percobaan penyisipan pesan dengan total 88 skenario pengujian diperoleh 7 skenario *error* dan 81 sukses. *Error* terjadi karena ukuran data yang disisipkan lebih besar dibandingkan durasi audio yang akan disisipi. Hasil perhitungan PSNR menunjukkan 75,31% file audio setelah disisipi pesan memiliki nilai PSNR di atas 40dB dari sejumlah 81 percobaan yang sukses. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil output file audio yang telah disisipi pesan tetap memiliki kualitas yang baik.

Kata Kunci: Audio, Discrete Cosine Transform, Peak Signal to Ratio, Steganografi.



1. PENDAHULUAN

Pertukaran informasi dan data menjadi sebuah kegiatan yang wajar dilakukan setiap orang. Dengan akses yang hampir tidak terbatas pada media informasi menyebabkan data digital mudah untuk digandakan dan disebar luaskan. Sehingga, dalam beberapa kejadian sebuah data yang seharusnya bersifat rahasia menjadi bocor dan tersebar karena adanya pencurian atau interferensi dari oknum selama proses perutkaran informasi. Hal ini tentunya sangat negatif bagi pemilik asli dari data tersebut.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk permasalahan tersebut adalah dengan melakukan steganografi. Steganografi merupakan sebuah teknik untuk menyembunyikan pesan kedalam media digital lainnya dengan tujuan agar orang selain pengirim dan penerima tidak mengetahui keberadaan dari pesan yang disembunyikan[1]. Steganografi memiliki beberapa metode yang dapat diterapkan, salah satunya adalah metode Discrete Cosine Transform (DCT). Metode DCT adalah sebuah metode untuk mengubah sinyal ke dalam bentuk frekuensi dasar. Dalam penerapan dalam steganografi, metode DCT memungkinkan untuk menyembunyikan pesan ke dalam frekuensi [1][2].

Pada penelitian [3] sebelumnya, berhasil mengimplementasikan steganografi pesan teks dengan metode Least Significant Bit (LSB). Aplikasi yang dibuat dengan MATLAB tersebut berhasil melakukan penyisipan dan ekstraksi pesan dengan kesesuaian isi pesan 100% dengan nilai PSNR di atas 50dB. Akan tetapi steganografi dengan metode LSB ini tidak tahan terhadap serangan kompresi yang akan menyebabkan isi pesan didalam file audio stego hilang.

Penelitian [4] berhasil mengimplementasikan suatu sistem steganografi audio stereo dengan menggabungkan metode Compressive Sampling (CS), Spread Spectrum (SS), Lifting Wavelet Transform (LWT), dan Singular Value Decomposition (SVD) dengan sinkronisasi dan Quantization Index Modulation (QIM). Berdasarkan hasil penelitian, aplikasi tersebut dapat menghasilkan sistem steganografi audio yang baik dengan kualitas yang tinggi. Hal itu didapatkan berdasarkan beberapa parameter yaitu parameter Signal to Noise Rasio (SNR) > 25, Objective Different Grade (ODG) > -1, dan Bit Error Rate (BER) < 5%, serta pengujian secara subjektif dengan parameter Mean Opinion Score (MOS).

Penelitian [5] berhasil menerapkan steganografi pada file audio menggunakan metode F5. Dari Hasil uji coba, diketahui bahwa dengan metode F5 penyisipan dan ekstraksi pesan dapat dilakukan dengan baik. Penyisipan pesan tidak berpengaruh terhadap ukuran berkas audio, akan tetapi berkas audio stego tidak tahan terhadap kompresi, manipulasi amplitudo dan pemotongan audio.

Penelitian [6] berhasil melakukan penyisipan pesan ke dalam file audio dengan memanfaatkan metode Data Encryption Standard (DES) dan metode End of File (EOF). Pesan akan dienkripsi menggunakan metode DES sebelum disisipkan ke dalam file audio dengan bantuan metode EOF. Berdasarkan hasil pengujian, proses penyisipan pesan dapat dilakukan dengan baik dan pesan dapat terbaca kembali saat proses ekstraksi pesan. File yang ukurannya lebih kecil dapat menampung teks yang ukurannya lebih besar. Ukuran file audio akan bertambah setelah disisipi pesan.

Penelitian [7] melakukan penelitian terkait penjagaan informasi pada media digital yang bertujuan untuk membuat sebuah aplikasi setaganografi dengan menggabungkan algoritma SLT (Slantlet Transform) dan DCT (Discrete Cosine Transform). Kedua algoritma dikombinasikan untuk menutupi kekurangan dari masing-masing algoritma. Proses pengujian dan perhitungan kualitas citra digital dilakukan berdasarkan perhitungan nilai PSNR yang ditentukan oleh nilai MSE. Hasil penelitian ini menunjukkan penerapan algoritma SLT-DCT pada sebuah aplikasi dapat berkerja dengan baik. Kualitas citra steganografi yang dihasilkan memiliki nilai PSNR rata-rata lebih dari 40db. Dengan nilai PSNR yang tinggi menunjukkan bahwa citra hasil steganografi sulit dibedakan dengan citra yang asli dan memiliki ketahanan terhadap proses perubahan format, penambahan kontras, dan histogram.

Penelitian [8] menyimpulkan bahwa aplikasi berjalan dengan baik dan metode DCT menghasilkan kualitas citra yang lebih baik dibandingkan LSB. Metode DCT mendapatkan nilai rata-rata PSNR 83,7728 dengan nilai MSE 0,0592 dan metode LSB mendapat nilai PSNR 8,887 dengan nilai 104,85.

Penelitian [9] menghasilkan aplikasi yang dapat menerapkan steganografi dengan metode DCT dengan baik. Nilai PSNR citra steganografi menunjukkan angka lebih dari 40db. Tingkat kemiripan mendapatkan hasil yang dapat diterima dengan baik meskipun terdapat sedikit perubahan resolusi pada citra.

Penelitian [10] berhasil merancang aplikasi steganografi berbasis perangkat mobile dengan Metode Least Significant Bit (LSB) untuk menyisipkan teks ke dalam berkas audio mp3. Dari hasil pengujian, aplikasi ini dapat melakukan proses penyisipan dan ekstraksi pesan dengan baik dan dalam waktu yang cepat. Rata-rata nilai PSNR yang didapatkan adalah 32,02dB yang dapat disimpulkan bahwa hasil steganografi dari aplikasi ini memiliki nilai yang cukup baik.

Penelitian [11] berhasil menerapkan mengimplemetasikan steganografi dengan metode Discrete Coisne Transform (DCT) pada 1 dimensi. Data yang digunakan sebagai carrier dan pesan merupakan file audio yang memiliki format wav. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode IDCT (Invers Dicrete Cosine Transform) untuk mengetahui kondisi kapasitasnya dan diperoleh tingkat keberhasilan sampai dengan 90% dimana dengan hasil ini metode DCT cukup baik digunakan.

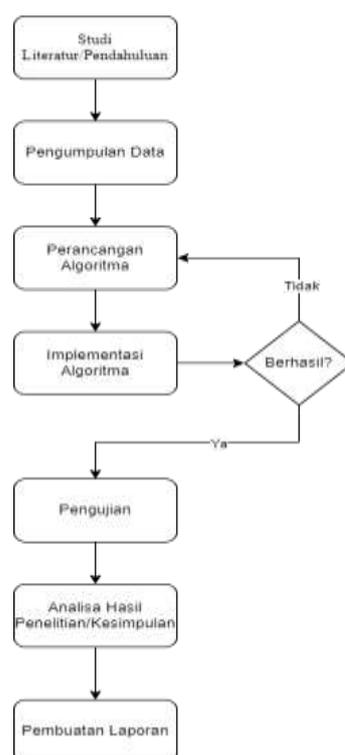


Penelitian [12] dilakukan implementasi steganografi teks pada file audio wav menggunakan bahasa pemrograman Python dengan metode Least Significant Bit (LSB). Pada tahap pengujian, perubahan desibel pada hasil steganografi dapat menghasilkan hasil ekstraksi kumpulan teks acak. Hal ini disebabkan proses ini mengubah seluruh struktur file audio yang sudah disisipkan teks. Kemudian, pesan tidak akan terekstraksi jika melakukan pemotongan pada bagian awal file audio. Pesan akan terurai saat dilakukan pemotongan pada bagian akhir audio. Hal ini disebabkan karena pesan disisipkan pada bagian akhir nilai biner file audio dengan metode LSB.

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode DCT untuk diimplementasikan pada steganografi dengan file audio sebagai cover object atau media yang akan disisipi pesan. File audio digunakan sebagai objek penelitian karena steganografi pada file audio dinilai cocok untuk menyembunyikan pesan rahasia dengan memanfaatkan kelemahan pada sistem pendengaran manusia. Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, dilakukan 2 jenis pengujian yaitu dengan metode black box untuk menguji fungsionalitas dari aplikasi yang digunakan untuk mengimplementasikan steganografi dan analisa perhitungan nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) untuk menguji kelayakan file audio setelah proses penyisipan pesan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melewati beberapa tahapan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk menentukan topik dan permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian. Setelah topik dan permasalahan ditentukan, tahap selanjutnya adalah mengumpulkan data dan referensi terkait dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, tesis, dan sebagainya. Dalam penelitian ini topik dan permasalahan yang diangkat adalah terkait implementasi steganografi dengan melakukan penyisipan pesan teks ke dalam file audio dengan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT). Oleh karena itu, referensi utama yang diperlukan adalah terkait penerapan steganografi audio dengan metode DCT dan penggunaan MATLAB untuk pengembangan aplikasi.

Dari sumber literatur yang didapatkan, selanjutnya akan dibuat sebuah rancangan algoritma atau desain program untuk menerapkan steganografi audio yang nantinya akan diimplementasikan menggunakan aplikasi MATLAB. Pada saat tahap implementasi, apabila didapatkan hasil yang tidak sesuai penulis akan kembali ke tahap sebelumnya untuk melakukan



perancangan ulang algoritma untuk mendapatkan hasil implementasi yang sesuai pada saat melakukan steganografi audio. Apabila tahap implementasi berhasil dilakukan, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan pengujian dengan metode *black box* dan analisa nilai PSNR. Metode *black box* digunakan untuk menguji fungsionalitas dari aplikasi yang telah dibuat, sedangkan nilai PSNR digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kelayakan *file* audio hasil steganografi. Berdasarkan hasil pengujian tersebut akan dilakukan analisa dan penarikan kesimpulan sehingga dapat menjadi hasil akhir sebuah laporan yang dapat menjadi pengetahuan penelitian dan dapat digunakan sebagai tolak ukur untuk penelitian selanjutnya.

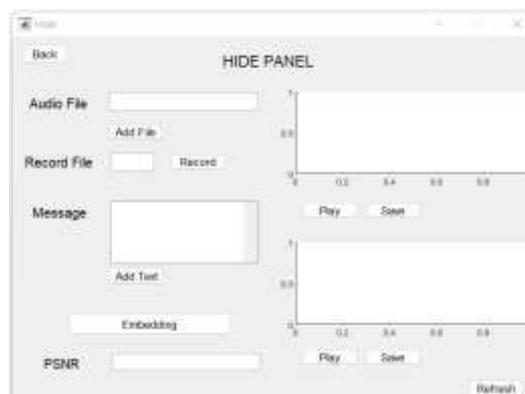
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi

Aplikasi yang dibuat memiliki 3 bagian utama, yaitu bagian dashboard, Hide, UnHide. Bagian dashboard merupakan bagian yang muncul pertama kali aplikasi dijalankan. Menu Hide merupakan bagian yang digunakan user saat akan melakukan penyisipan pesan pada file audio. Menu UnHide merupakan menu yang digunakan untuk mengekstrak atau membaca pesan yang tersembunyi. Gambar 2 menunjukkan tampilan dashboard aplikasi, Gambar 3 menunjukkan tampilan menu Hide untuk proses penyisipan pesan, dan Gambar 4 menunjukkan tampilan menu Unhide untuk ekstraksi pesan.



Gambar 2. Tampilan dashboard aplikasi



Gambar 3. Tampilan menu Hide



Gambar 4. Tampilan menu Unhide

3.2 Pengujian

Tahap pengujian pertama dilakukan dengan metode black box. Metode ini dipakai untuk mengetahui fungsionalitas setiap komponen yang terpasang pada aplikasi. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan metode black box, didapatkan bahwa aplikasi yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Setiap tombol dan fungsi yang diterapkann dalam aplikasi dapat menampilkan hasil yang diinginkan. Kemampuan tersebut meliputi menginputkan file audio berformat wav dan file teks berformat txt, melakukan perekaman suara berdasarkan durasi yang diinginkan pengguna, dan melakukan penyisipan pesan ke dalam file audio, serta membaca pesan tersembunyi pada file audio stego. Selain itu, aplikasi ini juga memungkinkan pengguna untuk memutar dan menyimpan file audio, baik file yang digunakan sebagai carrier maupun hasil steganografi. Begitu pula pada pesan yang terbaca setelah proses ekstraksi, pesan dapat disimpan dengan format txt. Tabel 1 menunjukkan daftar sampel audio sebagai media yang akan disisipi pesan, sedangkan Tabel 2 menunjukkan daftar sampel pesan yang akan disisipkan.

Tabel 1. Daftar Sampel Audio

No	Nama (.wav)	SampleRate	Total Samples	Durasi (detik)	Ukuran (kb)
1	1	16000	80000	5	157
2	preamble	22050	421110	19,0980	823
3	Wav_868kb	44100	222336	5,0416	869
4	PinkPanther60	22050	1323000	60	2.585
5	example3	44100	1306624	29,6287	2.105
6	example4	44100	2601617	58,9936	10.163
7	background	44100	3461760	78,4980	13.523
8	Wav_25mb	48000	6503040	135,48	25.403

Tabel 2. Daftar Sampel Pesan

No	Nama File (.txt)	Ukuran
1	PR	2kb
2	Rambu Pulang Wanita Pasar Kembang	2kb
3	Anomali Ilusi	4kb
4	Marxis Lenin Soekarno	10kb
5	draft1	17kb
6	Kisah tentang Wabah dan Berubahnya Rumah	43kb

Pada metode pengujian dengan perhitungan nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) didapatkan hasil yang baik. Proses pengujian dilkukan dengan beberapa skenario untuk mendapatkan hasil yang valid. Pada setiap skenario pengujian didapatkan hasil nilai PSNR yang berbeda – beda, tergantung pada file audio dan pesan yang digunakan sebagai objek dalam proses pengujian Didapatkan juga hasil error pada saat proses penyisipan pesan dan perhitungan nilai PSNR.

Skenario pengujian yang dilakukan adalah setiap file audio disisipi beberapa file pesan secara bergantian, sehingga didapat perbedaan data nilai PSNR yang muncul pada setiap percobaan. Dari data-data tersebut nantinya dapat diketahui kualitas dari audio stego yang telah melalui proses penyisipan pesan.

Skenario pengujian lain yang dilakukan dengan menginputkan pesan pada kolom pesan yang disediakan. Terdapat 2



jenis pesan yang akan dituliskan, yang pertama pesan bertuliskan “Halo” dan yang kedua adalah tulisan bertuliskan teks Pancasila. Pengujian pada skenario ini masih menggunakan file yang sama dengan daftar file audio pada Tabel I. Skenario pengujian terkahir yang dilakukan adalah menggunakan file audio hasil rekaman sebagai audio carrier. Suara direkam hanya dengan mikrofon bawaan yang sudah terpasang pada laptop tanpa menggunakan alat bantuan lain seperti mikrofon tambahan atau peredam suara. File teks yang digunkan sama dengan proses pengujian sebelumnya, termasuk juga dengan teks yang diketikkan pada kolom aplikasi sebagi pesannya.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai PSNR yang paling banyak muncul adalah nilai yang berada pada rentang 50dB sampai dengan 70dB dengan jumlah 25 kali. Kemudian nilai yang paling muncul kedua yaitu nilai PSNR yang berada di antara 30dB dan 50dB dengan jumlah 23 kali. Data analisa perhitungan nilai PSNR dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Tabel Perhitungan PSNR

No	Skenario Pengujian	File Audio (.wav)	Error	Nilai PSNR (dB)				
				< 30	< 50	< 70	< 90	> 90
1	Skenario 1	1	3	1	1	1	-	-
		preamble	1	-	4	1	-	-
		Wav_868kb	2	1	1	2	-	-
		PinkPanther60	-	2	4	-	-	-
		example3	-	5	1	-	-	-
		example4	-	3	1	2	-	-
		background	-	1	4	1	-	-
		Wav_25mb	-	-	1	1	1	3
2	Skenario 2	1	-	-	-	2	-	-
		preamble	-	-	-	-	1	1
		Wav_868kb	-	-	-	-	1	1
		PinkPanther60	-	-	-	1	1	-
		example3	-	-	1	1	-	-
		example4	-	-	-	1	1	-
		background	-	-	-	1	-	1
		Wav_25mb	-	-	-	-	-	2
3	Skenario 3	Record1	2	-	-	4	2	-
		Record2	1	-	3	3	1	-
		Record3	-	-	2	4	-	2
		Total	9	13	23	25	8	10

Nilai Peak Signal to Noise Ratio atau PSNR sangat bergantung pada ukuran data dari file audio dan file pesan yang akan disisipkan. Jika ukuran pesan yang akan disisipkan memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dari file audio, maka akan didapatkan nilai PSNR yang semakin tinggi pula. Sebaliknya, jika ukuran pesan mendekati ukuran file audio, maka nilai PSNR yang didapatkan lebih kecil. Hasil error akan didapatkan pada saat ukuran pesan lebih besar dari ukuran data file audio yang akan digunakan sebagai media cover. Munculnya hasil error ini juga menandakan bahwa proses penyisipan pesan teks pada file audio gagal untuk dilakukan.

Secara subjektif, kualitas suara yang dihasilkan audio stego menyerupai suara yang dihasilkan file audio asli sebelum disisii pesan. Hasil ini didapatkan setelah membandingkan suara yang dihasilkan saat memutar file audio stego dan audio asli. Dari hasil ini juga memperkuat fakta bahwa penerapan steganografi dengan file audio sebagai carrier atau pembawa pesan memungkinkan dan memiliki kualitas yang baik. Suara yang dihasilkan dapat mengecoh indra pendengaran manusia, sehingga tujuan untuk melindungi informasi yang tersembunyi di dalamnya dapat tercapai.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan yaitu Steganografi dapat diterapkan pada file audio dengan bantuan MATLAB sebagai tools untuk mengembangkan aplikasi. Proses penyisipan pesan teks pada file audio berformat wav melewati 2 proses transformasi, yaitu transformasi DCT dan FFT. Melalui pengujian dengan metode blackbox didapatkan hasil bahwa setiap tombol dan fitur yang terpasang bekerja dengan baik. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk menginputkan file audio berformat wav, merekam audio, menginputkan file pesan berformat txt, menuliskan pesan, menyimpan pesan, serta melakukan proses penyisipan dan ekstraksi pesan pada file audio. Pengguna juga dapat memutar dan menyimpan file audio, baik itu file audio yang berperan sebagai carrier maupun audio stego yang sudah disisipi pesan di dalamnya. Skenario pengujian untuk perhitungan PNSR dilakukan pada



8 file audio bertipe wav dan 3 rekaman suara sebagai media yang akan disisipi pesan, dengan pesan yang disisipkan berupa 6 file bertipe txt dan 2 pesan yang diketikkan secara langsung pada form yang disediakan. Total terdapat 88 skenario pengujian, dengan 81 skenario berhasil dan 7 error. Hasil error disebabkan oleh panjang pesan yang disisipkan lebih besar dibandingkan durasi file audio yang akan disisipi. Dari hasil perhitungan PSNR, pada setiap percobaan yang berhasil didapatkan 75,31% file audio yang telah disisipi pesan memiliki nilai PSNR lebih dari 40db. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas dari audio stego dapat dikategorikan baik atau layak. Suara yang dihasilkan audio stego tidak berbeda jauh dengan file audio awal, sehingga pesan yang tersembunyi di dalamnya tersimpan dengan baik. Proses penyisipan hanya dapat dilakukan jika kurang data pada file pesan lebih kecil dari ukuran data file audio. Jika ukuran file pesan lebih besar dari file audio, maka aplikasi akan menampilkan hasil error atau proses penyisipan gagal dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan syukur kepada Allah SWT dan juga mengucapkan terima kasih kepada segenap pihak yang telah membantu terselesaikannya penelitian baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Ardiansyah, B. Susilo, and A. Erlansari, "Penerapan Metode DCT (Discrete Cosine Transform) Pada Aplikasi Penyembunyian," *J. Rekursif*, vol. 5, no. 1, pp. 66–74, 2017.
- [2] A. Ansor, "Penerapan Steganografi Video Dengan Metode Discrete Cosine Transform," *MEANS (Media Inf. Anal. dan Sist.*, vol. 1, no. 2, pp. 25–32, 2016.
- [3] B. Kuniadi, D. Puspitaningrum, and F. F. Coastera, "Perancangan Dan Pembuatan Aplikasi Steganografi Pesan Teks Pada Audio Digital Dengan Metode Least Significant Bit," *J. Rekursif*, vol. 5, no. 3, pp. 285–297, 2017.
- [4] R. E. Liyanti, B. Hidayat, and G. Budiman, "Steganografi Audio Stereo Tersinkronisasi Berbasis SS dengan Metode Gabungan LWT-SVD," in *Seminar Nasional Teknik Elektro 2017*, 2017, pp. 121–131.
- [5] T. N. Sianturi and R. G. Hutagaol, "Penyisipan Pesan Rahasia Kedalam Audio Menggunakan Algoritma F5," in *Seminar Nasional Teknologi ...*, 2019, pp. 890–893, [Online]. Available: <http://prosiding.seminar-id.com/index.php/sainteks/article/view/249>.
- [6] A. Fauzi, "Analisa Kombinasi Pesan Teks Ke Dalam File Audio Memanfaatkan Algoritma Data Encryption Standard Dan Metode End of File," *J. Tek. Inform. Kaputama*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [7] L. Widyawati, "IMPLEMENTASI METODE STEGANOGRAFI SLT DCT PADA CITRA UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS CITRA STEGANOGRAFI," 2019.
- [8] B. A. Wijaya *et al.*, "Steganography Text Message Using LSB and DCT Methods," *J. Mantik*, vol. 5, no. 36, pp. 1825–1832, 2021.
- [9] M. Hamdani and G. N. Samsir, "IMPLEMENTASI STEGANOGRAFI UNTUK KEAMANAN PENGIRIMAN CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN METODE DCT (DISCRETE COSINE TRANSFORM)," *Sinusoida*, vol. 20, no. 2, pp. 42–52, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.089902><http://dx.doi.org/10.1016/j.nantod.2015.04.009><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-05514-9><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-019-13856-1><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-14365-2><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-14365-2>
- [10] A. Samsudin, A. Haryoko, and A. Nugroho, "Steganografi Pada File Audio Mp3 Untuk Pengamanan Data Menggunakan Metode Least Significant Bit," in *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat III*, 2018, no. 3, pp. 335–240.
- [11] N. Q. Fitriyah and Y. Y. Prayudi, "Implementasi Steganografi Audio File Wav Dengan Metode Discrete Cosine Transform (DCT)," *Pros. SENSEI*, vol. 1, no. 1, pp. 144–153, 2017.
- [12] R. E. Putra and R. Rijkulloh, "Implementasi Audio Steganografi Teks ke Audio pada Python," 2019.
- [13] E. Surahman, "PERANCANGAN DAN ANALISIS KOMPRESIAUDIO WAV DENGAN MENGGUNAKAN METODE HUFFMAN."
- [14] M. Minami and A. G. Fernando, "IMPLEMENTASI ALGORITMA END OF FILE (EoF) PADA STEGANOGRAFI CITRA," *J. TeknoInf*, vol. 9, no. 1, pp. 91–98, 2020, doi: 10.21063/jtif.2020.v8.1.25-31.
- [15] D. Darwis, "Teknik Steganografi untuk Penyembunyian Pesan Teks Menggunakan Algoritma GIFSHUFFLE," *J. TeknoInfo*, vol. 11, no. 1, p. 19, 2017, doi: 10.33365/jti.v11i1.6.
- [16] D. T. Kusuma, "Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik," *Petir*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, 2020, doi: 10.33322/petir.v14i1.1022.
- [17] R. Setiawan, "Black Box Testing Untuk Menguji Perangkat Lunak," *dicoding.com*, 2021. <https://www.dicoding.com/blog/black-box-testing/>.
- [18] S. Y. Doo, S. Tena, and V. M. Ndolu, "Implementasi Pengamanan Data Menggunakan Metode Kriptografi Hill Cipher Dan Steganografi Least Significant Bit (Lsb) Pada Media Citra Digital," *J. Media Elektro*, vol. VIII, no. 2, pp. 93–99, 2019, doi: 10.35508/jme.v0i0.1778.
- [19] A. Solichin, "Mengukur Kualitas Citra Hasil Steganografi," *Mengukur Kualitas Citra Hasil Steganografi*, no. April, pp. 1–4, 2015.