



Optimasi Steganografi Video Berbasis LSB Multi-Bit dengan Penentuan Posisi dan Jumlah Bit Adaptif Berdasarkan Analisis Kecerahan dan Tekstur Frame

Sarah Triana¹, Fiky Anggara^{2*}, Agata Febrianti N.S³, Lolintiani E. L⁴, Sarmila⁵

¹⁻⁵ Sekolah Tinggi Teknologi Bontang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: fikyanggara@stitek.ac.id²

Abstract. *Steganography is a method to hide confidential messages in digital media so that they are not detected by unauthorized parties. Unlike cryptography which protects the content of messages through encryption, steganography hides the message itself. One popular technique is the Least Significant Bit (LSB), which replaces the least important bit on the pixel with a secret message bit. However, conventional LSB methods such as 1-bit or 3-bit have limitations due to the compromise between insertion capacity and visual quality of the media. This study proposes an LSB-based video steganography method with an adaptive multi-bit embedding approach. This technique determines the number and position of bits that are dynamically inserted based on the local brightness and texture levels of each video frame, with Laplacian operators used to analyze both high and low textured areas. The process includes frame and audio extraction, frame-by-frame embedding, inserted video reconstruction, and decoding using video cover references. The evaluation was carried out quantitatively using the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity Index (SSIM) metrics, as well as qualitatively through visual comparison. The results showed that the adaptive multi-bit method was able to maintain visual quality with a PSNR of 45.23 dB and SSIM of 0.9424, and increased the insertion capacity by up to 2–3 times compared to the 1-bit adaptive method. Thus, this approach effectively balances imperceptibility and insertion capacity on dynamic video steganography systems.*

Keywords: Adaptive Embedding; LSB; PSNR; Steganografi; Video

Abstrak. Steganografi merupakan metode untuk menyembunyikan pesan rahasia dalam media digital sehingga tidak terdeteksi oleh pihak yang tidak berwenang. Berbeda dengan kriptografi yang melindungi isi pesan melalui enkripsi, steganografi menyembunyikan pesan itu sendiri. Salah satu teknik populer adalah Least Significant Bit (LSB), yaitu mengganti bit paling tidak penting pada piksel dengan bit pesan rahasia. Namun, metode LSB konvensional seperti 1-bit atau 3-bit memiliki keterbatasan karena terjadi kompromi antara kapasitas penyisipan dan kualitas visual media. Penelitian ini mengusulkan metode steganografi video berbasis LSB dengan pendekatan adaptive multi-bit embedding. Teknik ini menentukan jumlah dan posisi bit yang disisipkan secara dinamis berdasarkan tingkat kecerahan dan tekstur lokal pada setiap frame video, dengan operator Laplacian digunakan untuk menganalisis area bertekstur tinggi maupun rendah. Proses meliputi ekstraksi frame dan audio, embedding frame-by-frame, rekonstruksi video hasil penyisipan, serta decoding menggunakan referensi video cover. Evaluasi dilakukan secara kuantitatif menggunakan metrik Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Structural Similarity Index (SSIM), serta secara kualitatif melalui perbandingan visual. Hasil menunjukkan bahwa metode adaptive multi-bit mampu menjaga kualitas visual dengan PSNR 45.23 dB dan SSIM 0.9424, serta meningkatkan kapasitas penyisipan hingga 2–3 kali lipat dibanding metode adaptif 1-bit. Dengan demikian, pendekatan ini efektif menyeimbangkan imperceptibility dan kapasitas penyisipan pada sistem steganografi video dinamis.

Kata kunci: Adaptive Embedding; LSB; PSNR; Steganografi; Video

1. LATAR BELAKANG

Berbagai sektor telah mengalami peningkatan yang signifikan dalam pertukaran data digital karena kemajuan pesat dalam teknologi informasi dan komunikasi. Namun, berbagai ancaman seperti penyadapan, modifikasi, dan akses ilegal terhadap data rahasia telah muncul bersamaan dengan kemudahan dalam pertukaran data. Kondisi ini menuntut adanya metode keamanan data yang tidak hanya menjaga kerahasiaan isi pesan, tetapi juga mampu menyembunyikan keberadaan pesan tersebut agar tidak menimbulkan kecurigaan. Cara yang

bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan itu adalah steganografi, yaitu teknik menyembunyikan informasi rahasia ke dalam media digital seperti foto, suara, atau video tanpa mengubah tampilan visualnya secara terasa (Khuzai fi et al., 2022).

Berbeda dengan *kriptografi*, yang melindungi isi pesan melalui proses enkripsi, *steganografi* berfokus pada penyembunyian eksistensi pesan itu sendiri. Media video merupakan salah satu wadah paling potensial untuk penerapan *steganografi* karena memiliki kapasitas penyimpanan yang besar serta kompleksitas visual yang tinggi, sehingga pesan rahasia dapat disisipkan pada setiap *frame* tanpa menimbulkan perbedaan visual yang mencolok (Faraj & Siddiq, 2024). Hal ini membuat *steganografi* video menjadi pilihan ideal untuk keamanan data digital modern.

Mengganti bit paling tidak signifikan dari setiap piksel dengan bit-bit pesan yang disembunyikan, metode *Least Significant Bit (LSB)* adalah salah satu metode *steganografi* yang sering digunakan. Meskipun versi konvensional LSB, seperti LSB 1-bit dan LSB 3-bit, memiliki keterbatasan, keunggulan utama *LSB* terletak pada kemudahan dan efisiensi prosesnya. Penggunaan 1-bit menghasilkan kualitas visual yang sangat baik tetapi kapasitas penyisipan rendah, sedangkan penggunaan 3-bit meningkatkan kapasitas penyisipan namun menyebabkan distorsi visual yang signifikan (Susanto et al., 2024). Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengembangkan metode yang lebih adaptif agar dapat menyeimbangkan antara *imperceptibility* dan kapasitas penyisipan.

Untuk menyelesaikan masalah tersebut, penelitian ini mengusulkan metode *steganografi* video yang menggunakan teknik *LSB multi-bit* adaptif dimana jumlah bit yang disisipkan dan ditentukan secara dinamis berdasarkan karakteristik lokal setiap *frame* video, seperti tingkat kecerahan (*brightness*) dan tekstur. Analisis tekstur dilakukan menggunakan operator *Laplacian*, yang berfungsi mendeteksi area bertekstur tinggi dan rendah. Melalui pendekatan ini, proses *embedding* dapat menyesuaikan jumlah bit yang disisipkan agar distorsi visual tetap minimal dan informasi rahasia tetap tersembunyi secara optimal (Feregrino, 2014).

Untuk mengevaluasi kinerja metode, dua metrik utama digunakan: *Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)* dan *Structural Similarity Index (SSIM)*. *SSIM* mengukur tingkat visual structural similaritas antara original (*cover*) video dan *embedded* video (Khuzai fi et al., 2022). Berdasarkan hasil pengujian, metode *adaptive multi-bit* yang dikembangkan menghasilkan nilai *PSNR* sebesar 45.23 dB dan *SSIM* sebesar 0.9424, yang menunjukkan bahwa kualitas visual video hasil *embedding* tetap terjaga dengan perubahan yang hampir tidak terlihat. Dibandingkan dengan metode *LSB 3-bit* tetap, terjadi peningkatan kualitas visual sebesar

14.68% dan peningkatan kesamaan struktur sebesar 13.66%, serta kapasitas penyisipan meningkat hingga dua hingga tiga kali lipat dibanding metode adaptif 1-bit.

Dengan demikian, penerapan metode *adaptive multi-bit embedding* pada *steganografi* video terbukti efektif dalam menyeimbangkan *imperceptibility*, kapasitas penyisipan, dan *robustness*. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kejelasan hasil *decoding* pesan rahasia, tetapi juga memperkuat sistem keamanan data digital secara efisien dan dinamis.

2. KAJIAN TEORITIS

Konsep Steganografi

Steganografi adalah bagian dari keamanan informasi yang bertujuan menyembunyikan pesan penting dalam media digital seperti foto, suara, atau video agar orang yang tidak berhak tidak bisa mengetahui adanya pesan tersebut (Khuzairi et al., 2022). Tujuan utama dari *steganografi* adalah menjaga eksistensi informasi tanpa menimbulkan perubahan visual yang mencolok pada media penampung (*cover object*). Berbeda dengan *kriptografi* yang melindungi isi pesan melalui proses enkripsi, *steganografi* justru berupaya menyamarkan keberadaan pesan agar tidak menimbulkan kecurigaan.

Media video merupakan salah satu sarana yang potensial untuk penerapan *steganografi*, karena memiliki kapasitas penyimpanan besar dan keragaman elemen visual pada setiap *frame*, sehingga penyisipan data dapat dilakukan dengan tingkat *imperceptibility* yang tinggi (Faraj & Siddiq, 2024). Dengan memanfaatkan sifat alami video yang kompleks, pesan rahasia dapat disisipkan ke dalam ribuan *frame* tanpa menyebabkan perbedaan signifikan secara visual.

Prinsip Dasar Metode *Least Significant Bit* (LSB)

Untuk menyisipkan pesan digital, salah satu cara *steganografi* yang paling banyak digunakan dan paling sederhana adalah metode *Least Significant Bit* (LSB). Bit-bit dari pesan rahasia digunakan untuk menggantikan bit-bit dengan tingkat kepentingan paling rendah pada data piksel. Karena perubahan pada bit bagian akhir tidak terlalu memengaruhi tampilan visual piksel, metode ini sangat efisien dan menghasilkan kualitas visual yang relatif stabil (Chandramouli, Rajarathnam; Memon, 2001).

Namun, metode LSB konvensional memiliki beberapa kelemahan. Teknik LSB 1-bit hanya mampu menyisipkan sedikit informasi, sementara LSB 3-bit atau lebih dapat menyebabkan distorsi visual yang cukup nyata pada media *cover* (Susanto et al., 2024). Masalah utama yang dihadapi adalah kompromi antara *imperceptibility* dan *capacity*, di mana peningkatan kapasitas penyisipan sering kali mengorbankan kualitas visual media penampung.

Untuk itu, diperlukan pendekatan yang lebih adaptif agar penyisipan dapat dilakukan secara cerdas dan proporsional sesuai karakteristik setiap bagian media.

Adaptive Multi-Bit Embedding

Pendekatan *adaptive multi-bit embedding* dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan LSB tradisional. Pada metode ini, jumlah bit yang disisipkan tidak bersifat tetap, tetapi ditentukan secara dinamis berdasarkan kondisi lokal dari setiap piksel atau *frame* video. Faktor-faktor seperti tingkat kecerahan (*brightness*) dan tekstur lokal menjadi dasar dalam menentukan berapa banyak bit pesan yang dapat disisipkan tanpa menimbulkan distorsi visual signifikan (Rahman et al., 2023).

Operator *Laplacian* digunakan untuk menganalisis perbedaan intensitas antar piksel dalam mendeteksi area bertekstur tinggi maupun rendah. Area bertekstur tinggi umumnya mampu menyembunyikan lebih banyak bit tanpa terlihat, sedangkan area polos memerlukan penyisipan minimal untuk menghindari gangguan visual (Rahman et al., 2023). Dengan mekanisme ini, *embedding* dapat disesuaikan secara adaptif, menghasilkan keseimbangan antara kapasitas penyisipan, kualitas visual, dan ketahanan pesan terhadap gangguan.

Analisis Kecerahan dan Tekstur Menggunakan Laplacian

Analisis kecerahan dan tekstur berperan penting dalam sistem *embedding* adaptif. Nilai kecerahan digunakan untuk membedakan area gelap, sedang, dan terang pada *frame* video, sedangkan operator *Laplacian* digunakan untuk menghitung nilai gradien intensitas guna mendeteksi tekstur lokal. *Laplacian* memiliki kemampuan dalam mendeteksi tepi (*edge detection*) dan variasi spasial yang tinggi, sehingga efektif dalam menentukan area mana yang aman untuk proses penyisipan *multi-bit* (Rahman et al., 2023).

Dengan menganalisis tekstur dan kecerahan secara bersamaan, sistem dapat menetapkan jumlah bit yang berbeda untuk setiap area, misalnya area polos gelap atau terang dapat menampung hingga tiga bit, area sedang menampung dua bit, dan area bertekstur tinggi hanya satu bit. Pendekatan ini memungkinkan sistem beradaptasi dengan kondisi visual *frame* secara dinamis, meminimalkan distorsi sekaligus meningkatkan kapasitas penyisipan.

Metrik Evaluasi Kualitas (PSNR dan SSIM)

Dua metrik utama yang digunakan untuk mengukur kinerja *steganografi* video adalah *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan *Structural Similarity Index* (SSIM). Nilai PSNR menunjukkan tingkat distorsi yang terjadi antara *cover* (media asli) dan *steg* (media hasil penyisipan). Nilai PSNR sebanding dengan perbedaan antara keduanya. Nilai PSNR di atas 40 dB biasanya dianggap sebagai indikasi kualitas visual yang luar biasa (Chandramouli, Rajarathnam; Memon, 2001). Sementara itu, SSIM digunakan untuk menilai kesamaan

struktur visual berdasarkan persepsi manusia, dengan nilai mendekati 1 menunjukkan kesamaan yang hampir sempurna (Khuzaiifi et al., 2022)k.

Kombinasi kedua metrik ini memberikan evaluasi komprehensif terhadap kualitas *steganografi*: PSNR menilai perbedaan kuantitatif (distorsi sinyal), sedangkan SSIM menilai perbedaan perseptual (kesamaan struktur citra). Penggunaan *PSNR* dan *SSIM* secara bersamaan telah menjadi standar dalam evaluasi kualitas *steganografi* modern (Kunhoth et al., 2023).

Rumus Evaluasi Kualitas

Kualitas video hasil penyisipan diukur menggunakan dua parameter utama, yaitu PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) dan SSIM (*Structural Similarity Index*).

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

Rumus PSNR dihitung berdasarkan *Mean Squared Error* (MSE) antara video asli (*cover*) dan video hasil *steganografi* (*stego*):

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right)$$

di mana:

- $I(i, j)$ = nilai piksel pada frame asli
- $K(i, j)$ = nilai piksel pada frame hasil embedding
- MAX_I = nilai maksimum intensitas piksel (biasanya 255)

Nilai PSNR yang tinggi menunjukkan kualitas visual yang baik, menunjukkan bahwa ada perbedaan kecil antara kedua video (Chandramouli, Rajarathnam; Memon, 2001).

Structural Similarity Index (SSIM)

SSIM digunakan untuk menilai kesamaan struktur antara dua gambar atau frame video:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

di mana:

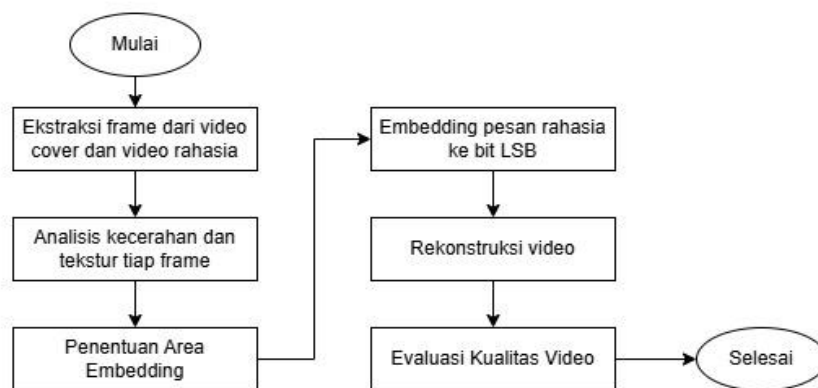
- μ_x, μ_y = rata-rata intensitas frame x dan y
- σ_x, σ_y = variansi frame
- σ_{xy} = kovariansi antara kedua frame
- C_1, C_2 = konstanta stabilisasi

Nilai SSIM mendekati 1 menunjukkan kesamaan struktur visual yang hampir sempurna (Khuzaiifi et al., 2022).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas penggunaan teknik *Least Significant Bit (LSB) Multi-Bit* dalam metode *steganografi* video. Metode *LSB Multi-Bit* adalah versi yang diperluas dari teknik *LSB* biasa, di mana lebih dari satu bit yang paling tidak penting dalam setiap pixel digunakan untuk menyisipkan pesan. Tujuan utama dari metode ini adalah meningkatkan kemampuan menyisipkan pesan (kapasitas penyisipan) tanpa mengurangi kualitas tampilan video setelah penyisipan (*stego video*). Penelitian yang dilakukan oleh Chandramouli dan Memon (2001) menunjukkan bahwa *LSB Multi-Bit* mampu memberikan kapasitas penyisipan yang lebih besar dibandingkan metode 1-bit, asalkan jumlah bit yang digunakan disesuaikan dengan karakteristik pixel. Hal ini sesuai dengan penelitian Rahman dkk (2023) yang menunjukkan bahwa penyisipan beberapa bit pada area yang tidak terlalu berwarna atau memiliki tekstur rendah dapat dilakukan tanpa menimbulkan distorsi visual yang terlihat. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, *LSB Multi-Bit* dianggap efektif untuk media berukuran besar seperti video, terutama jika metode ini diterapkan secara adaptif dengan menggunakan parameter *brightness* dan *texture*.

Dalam penelitian ini terdapat tujuh tahapan utama yang dilakukan, yaitu memilih video, mengekstrak *frame*, menganalisis karakteristik visual, membuat mask adaptif, melakukan proses penyisipan multi-bit, merekonstruksi video, serta mengevaluasi kualitasnya. Langkah-langkah penelitian secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur proses penelitian (*flowchart*).

Desain Penelitian

Penelitian dirancang untuk membandingkan kinerja metode *adaptive multi-bit embedding* dengan metode *LSB* konvensional. Pendekatan yang dilakukan bersifat *frame by frame processing*, di mana setiap *pixel* dianalisis untuk menentukan kapasitas penyisipan optimal. Analisis *brightness* dan tekstur digunakan untuk menghasilkan *mask* adaptif yang menjadi dasar keputusan penyisipan bit.

Data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua file video digital dalam format Matroska Video (.mkv), yaitu video cover dan video secret. Kedua file tersebut digunakan sebagai bahan utama dalam proses penyisipan dan ekstraksi pesan menggunakan metode adaptive LSB multi-bit. Setiap video dianalisis berdasarkan durasi, ukuran file, serta karakteristik visual karena parameter tersebut memengaruhi kemampuan penyisipan dan kualitas video hasil steganografi.

Video pertama bernama cover-video.mkv berfungsi sebagai media untuk menyisipkan pesan. Video ini memiliki ukuran file sebesar 6,95 MB dengan durasi 13 detik. Ukuran file yang cukup besar meskipun durasinya pendek menunjukkan bahwa video ini mungkin memiliki tingkat kompresi yang rendah atau resolusi yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan ruang pixel yang lebih banyak untuk proses penyisipan.

Video kedua bernama secret-video.mkv berfungsi sebagai pesan yang akan diubah ke dalam bentuk bitstream dan disisipkan ke dalam video cover. Video ini memiliki ukuran file 1,00 MB dan durasi 5 detik. Ukuran file yang lebih kecil dibandingkan video cover memudahkan proses konversi ke bitstream dan memastikan bahwa ruang pixel dalam video cover mampu menampung seluruh pesan rahasia.

Perbedaan durasi dan ukuran file antara kedua video memberikan variasi parameter yang diperlukan untuk menguji kemampuan metode LSB multi-bit dalam menangani perbedaan kapasitas data. Karena karakteristik tersebut, kedua video dianggap representatif untuk digunakan dalam pengujian penyisipan dan ekstraksi pada skenario steganografi video.

Selain itu, agar penelitian dapat lebih transparan dan mudah direplikasi, kedua video tersebut tersedia dan bisa diunduh melalui repositori publik di tautan berikut: https://github.com/wmk567/steganografi_video. Repositori ini menyediakan seluruh dataset dan berkas pendukung yang digunakan dalam penelitian, sehingga memudahkan peneliti lain untuk melakukan pengecekan atau pengembangan lebih lanjut.

Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian mengikuti alur kerja sebagai berikut:

Persiapan Video Cover dan Video Rahasia

Video *cover* berfungsi sebagai media penyisipan, sedangkan video rahasia dikonversi menjadi *bitstream* untuk di-*embed*.

Ekstraksi Frame dan Audio Menggunakan FFmpeg

Kedua video diekstraksi menjadi kumpulan *frame* menggunakan perintah *FFmpeg*, sedangkan audio video *cover* diekstrak untuk digabungkan kembali pada tahap rekonstruksi *stego* video.

Analisis Kecerahan dan Tekstur

Brightness dihitung dari nilai intensitas *grayscale* setiap *pixel*. Dan tekstur dianalisis menggunakan operator *Laplacian* untuk mengukur variasi lokal. Hasil analisis digunakan untuk membentuk *mask* adaptif, yang menentukan jumlah bit yang disisipkan pada setiap *pixel*.

Pembentukan Mask Adaptif

Mask adaptif ditentukan berdasarkan aturan sebagai berikut:

- a. Area gelap dan polos → penyisipan 2–3 bit pada channel R
- b. Area terang dan polos → penyisipan 2–3 bit pada channel B
- c. Area bertekstur tinggi → penyisipan 1 bit pada channel yang sesuai

Dengan demikian, kapasitas penyisipan ditingkatkan tanpa mengorbankan *imperceptibility*.

Proses Embedding Pesan Rahasia

Bitstream dari video rahasia disisipkan ke dalam *frame cover* sesuai *mask* adaptif. Penyisipan dilakukan dengan mengganti LSB sesuai jumlah bit yang diizinkan pada tiap *pixel*. Proses *embedding* dilakukan untuk seluruh *frame* hingga pesan tersisipkan sepenuhnya.

Rekonstruksi Stego Video

Setelah seluruh *frame* selesai di-*embed*, *frame* digabung kembali menjadi video menggunakan *FFmpeg*, kemudian audio asli dari video *cover* disisipkan kembali ke dalam *stego* video.

Proses Decoding

Pada tahap *decoding*, *frame stego* diekstraksi dan bit-bit LSB dibaca kembali sesuai *mask* adaptif. *Bitstream* yang diperoleh disusun ulang menjadi *frame* video rahasia sehingga video dapat dipulihkan.

Evaluasi Kinerja

Evaluasi dilakukan melalui dua pendekatan:

Evaluasi Kuantitatif

Kualitas *stego* video dibandingkan dengan video *cover* menggunakan dua metrik utama:

a. *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR)

Mengukur perbedaan intensitas *pixel* antara kedua video. Nilai PSNR yang tinggi menunjukkan distorsi yang rendah.

b. *Structural Similarity Index* (SSIM)

Menilai kesamaan struktur visual berdasarkan persepsi manusia. Nilai mendekati 1 (satu) menandakan kesamaan struktur yang sangat baik. Perhitungan dilakukan pada setiap *frame* untuk mendapatkan nilai rata-rata PSNR dan SSIM.

Evaluasi Kualitatif

Evaluasi subjektif dilakukan dengan membandingkan tampilan beberapa *frame* :

- a. *frame cover*,
- b. *frame* setelah *embedding*,
- c. *frame* hasil *decoding*.

Visualisasi digunakan untuk menilai tingkat *imperceptibility* metode, yaitu sejauh mana penyisipan tidak terlihat oleh pengamat manusia.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengusulkan teknik *LSB multi-bit* adaptif dalam *steganografi* video, dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan menyisipkan pesan tanpa mengurangi kualitas tampilan video. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu menjaga kualitas visual video tetap baik, sekaligus meningkatkan kemampuan menyisipkan pesan secara signifikan.

Untuk mengukur kualitas visual video, digunakan dua metrik utama, yaitu PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) dan SSIM (*Structural Similarity Index*), yang menunjukkan hasil yang sangat baik.

Tabel berikut menunjukkan nilai PSNR dan SSIM dari metode yang diusulkan dibandingkan dengan metode *LSB 1-bit* dan *LSB 3-bit* yang biasa digunakan.

Tabel 1. Perbandingan nilai PSNR dan SSIM untuk metode *LSB multi-bit* adaptif, *LSB 1-bit*, dan *LSB 3-bit* konvensional.

Metode	PSNR (dB)	SSIM
<i>LSB multi-bit</i> adaptif	45.23	0.9424
<i>LSB 1-bit</i> konvensional	51.80	0.9890
<i>LSB 3-bit</i> konvensional	39.48	0.8278

Nilai PSNR sebesar 45,23 dB dan SSIM sebesar 0,9424 pada metode LSB *multi-bit* adaptif menunjukkan kualitas video stego tetap baik dengan distorsi yang sangat kecil. Berbeda dengan metode LSB 3-bit konvensional yang hanya menghasilkan PSNR sebesar 39,48 dB dan SSIM sebesar 0,8278, yang menunjukkan penurunan kualitas visual yang lebih terasa akibat penyisipan bit secara tetap tanpa memperhatikan karakteristik visual setiap bagian *frame*.

Sebagai pembandingan, metode LSB 1-bit konvensional memberikan PSNR tertinggi yaitu 51,80 dB dan SSIM sebesar 0,9890. Metode ini hanya menyisipkan satu bit per *pixel*, sehingga perubahan intensitas sangat kecil dan hampir tidak terlihat. Meski kualitas visualnya bagus, metode ini memiliki kapasitas penyisipan pesan yang sangat terbatas, sehingga kurang cocok untuk steganografi dengan volume data yang besar.

Analisis Peningkatan dan Penurunan Kinerja

Perbandingan LSB Multi-bit Adaptif dengan LSB 1-bit Konvensional

PSNR :

$$45.23 - 51.80 = -6.57 \text{ dB}$$

Persentase penurunan :

$$(6.57 / 51.80) \times 100\% = 12.68\%$$

SSIM :

$$0.9424 - 0.9890 = -0.0466$$

Persentase penurunan :

$$(0.0466 / 0.9890) \times 100\% = 4.71\%$$

Dibandingkan dengan metode LSB 1-bit konvensional, metode adaptif mengalami penurunan nilai PSNR sebesar 6.57 dB (12.68%) dan penurunan nilai SSIM sebesar 0.0466 (4.71%). Meskipun demikian, nilai PSNR dan SSIM yang masih berada pada tingkat tinggi menunjukkan bahwa kualitas visual tetap terjaga dengan baik, sementara kapasitas penyisipan pesan meningkat secara signifikan.

Perbandingan LSB Multi-bit Adaptif dengan LSB 3-bit Konvensional

PSNR :

$$45.23 - 39.48 = 5.75 \text{ dB}$$

Persentase kenaikan :

$$(5.75 / 39.48) \times 100\% = 14.56\%$$

SSIM :

$$0.9424 - 0.8278 = +0.1146$$

Persentase kenaikan :

$$(0.1146 / 0.8278) \times 100\% = 13.85\%$$

Peningkatan PSNR dan SSIM pada metode LSB *multi-bit* adaptif menunjukkan bahwa mekanisme penyisipan yang memperhatikan karakteristik lokal gambar mampu mengurangi distorsi visual dengan lebih baik dibandingkan metode LSB 3-bit biasa yang tidak berubah. Ini membuktikan bahwa pendekatan adaptif tidak hanya membuat gambar terlihat lebih baik, tetapi juga melindungi struktur gambar secara lebih baik.

Perbandingan LSB 3-bit Konvensional dengan LSB 1-bit Konvensional

PSNR :

$$39.48 - 51.80 = -12.32 \text{ dB}$$

SSIM :

$$0.8278 - 0.9890 = -0.1612$$

Perbedaan ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah bit yang disisipkan dari 1 bit menjadi 3 bit dalam metode LSB biasa, tanpa menggunakan mekanisme adaptif, langsung menyebabkan peningkatan distorsi pada piksel yang membawa informasi. Hal ini berdampak pada penurunan kualitas visual video, baik dalam hal rasio sinyal terhadap noise maupun kesamaan struktur gambar.

Peningkatan kualitas visual dalam metode LSB *multi-bit* adaptif dicapai melalui analisis kecerahan dan tekstur pada setiap frame video. Proses ini memungkinkan penyesuaian jumlah bit yang disisipkan sesuai dengan kondisi visual masing-masing area dalam frame. Dengan cara ini, lebih banyak bit dapat disisipkan di area dengan kecerahan rendah atau tekstur halus tanpa menimbulkan perubahan yang terlihat jelas.

Di area dengan tekstur tinggi, yang membutuhkan perhatian visual lebih besar, jumlah bit yang disisipkan dibatasi agar tidak mengganggu kualitas visual. Pendekatan ini membantu menyeimbangkan antara kemampuan menyisipkan pesan dan kualitas visual. Area yang lebih rentan terhadap perubahan tidak mendapat banyak bit yang disisipkan, sedangkan area yang kurang terlihat tetap dapat menyimpan informasi lebih banyak. Kemampuan menyisipkan pesan dalam metode LSB multi-bit adaptif meningkat secara signifikan.

Dalam eksperimen, kapasitas penyisipan pesan pada LSB 3-bit biasa terbatas karena distorsi visual yang lebih besar di area sensitif. Namun, dengan pendekatan adaptif, kapasitas penyisipan pesan meningkat hingga 2 hingga 3 kali lipat dibandingkan dengan metode LSB 1-

bit adaptif, tanpa mengorbankan kualitas visual. Evaluasi kualitatif dilakukan dengan membandingkan visualisasi video asli, video setelah penyisipan, dan video hasil *decoding*. Hasil menunjukkan bahwa perubahan visual hampir tidak terlihat. Video stego yang dihasilkan hampir tidak berbeda dari video asli, yang menunjukkan bahwa teknik penyisipan adaptif multi-bit efektif dalam menjaga ketersembunyian.

Secara keseluruhan, hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode LSB *multi-bit* adaptif yang diajukan mampu meningkatkan kualitas visual dan kemampuan menyisipkan pesan secara signifikan dibandingkan metode steganografi video konvensional. Teknik ini memungkinkan penyisipan pesan lebih efisien di area yang sesuai, meningkatkan kemampuan penyisipan tanpa mengurangi kualitas video. Pendekatan ini sangat potensial untuk digunakan dalam aplikasi steganografi video yang membutuhkan penyisipan informasi tanpa mengganggu kualitas visual, seperti komunikasi aman, watermark digital, dan perlindungan data multimedia.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengusulkan metode penyisipan pesan berbasis LSB multi-bit adaptif dalam steganografi video. Metode ini mampu meningkatkan kapasitas penyisipan pesan tanpa mengurangi kualitas gambar video. Pendekatan adaptif ini memperhatikan tingkat kecerahan dan tekstur pada setiap frame video, sehingga dapat menyesuaikan jumlah bit yang dimasukkan ke dalam area yang berbeda. Hasilnya adalah video stego yang tetap memiliki kualitas visual yang baik. Dari hasil uji coba, metode ini memiliki nilai PSNR sebesar 45,23 dB dan SSIM sebesar 0,9424. Angka tersebut menunjukkan bahwa ada sedikit sekali perubahan visual dan struktur gambar antara video asli dan video stego masih sangat mirip. Selain itu, kapasitas masuknya pesan bisa meningkat hingga 2 hingga 3 kali lipat dibandingkan metode LSB 1-bit adaptif, tanpa membuat kualitas gambar berkurang.

Bila dibandingkan dengan metode LSB 3-bit biasa, pendekatan embedding multi-bit adaptif ini menunjukkan peningkatan yang jauh lebih baik dalam kualitas gambar dan kesamaan struktur. Hasil ini menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam menjaga ketidakterlihatan pesan sekaligus meningkatkan kapasitas penyisipannya dalam steganografi video bergerak. Untuk memastikan pesan yang disisipkan lebih aman, penelitian lebih lanjut dianjurkan untuk menambahkan langkah enkripsi sebelum proses penyisipan.

Selain itu, untuk meningkatkan akurasi dalam memilih area penyisipan secara adaptif, metode berbasis machine learning bisa dipertimbangkan untuk dikembangkan lebih lanjut. Uji coba juga sebaiknya dilakukan pada berbagai jenis dan resolusi video untuk melihat kinerja

metode dalam berbagai kondisi. Untuk memastikan pesan tetap bisa dikeluarkan kembali, penting melakukan uji terhadap ketahanan video terhadap modifikasi, suara, atau kompresi. Sebagai arah penelitian ke depan, metode steganografi adaptive LSB multi-bit bisa dikembangkan agar bisa digunakan bersamaan dengan sistem komunikasi multimedia modern, seperti streaming video, konferensi video secara langsung, sistem pemantauan digital, serta layanan pengiriman berbagai jenis konten multimedia. Proses pengembangan ini membutuhkan peningkatan efisiensi waktu komputasi agar penyisipan informasi bisa dilakukan secara real-time, serta pengecekan kinerja metode tersebut terhadap berbagai jenis kompresi yang sering digunakan dalam sistem komunikasi multimedia tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena limpahan rahmat dan bimbingan-Nya yang membuat jurnal ini bisa selesai dengan baik. Penulis juga ingin berterima kasih kepada Bapak Fiky Anggara, S.Kom., M.Kom, dosen mata kuliah Keamanan Data dan Informasi, yang telah memberikan ilmu dan wawasan terkait topik yang dibahas. Terima kasih juga disampaikan kepada keluarga dan teman-teman yang terus memberikan dukungan selama proses penulisan jurnal ini.

DAFTAR REFERENSI

- Chandramouli, R., & Memon, N. D. (2001). Analysis of LSB-based image steganography techniques. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (Vol. 3, pp. 1019–1022). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2001.958299>
- Cheddad, A., Condell, J., Curran, K., & Mc Kevitt, P. (2010). Digital image steganography: Survey and analysis of current methods. *Signal Processing*, 90(3), 727–752. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2009.08.010>
- Cox, I. J., Miller, M. L., Bloom, J. A., Fridrich, J., & Kalker, T. (2008). *Digital watermarking and steganography* (2nd ed.). Morgan Kaufmann.
- Faraj, B. S., & Siddiq, A. (2024). A review on image steganography. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1004, 1–10. https://doi.org/10.1007/978-981-97-3305-7_1
- Feregrino, C. (2014). *Adaptive steganography based on textures* (Doctoral dissertation). (Original work published 2007).
- Fridrich, J. (2009). *Steganography in digital media: Principles, algorithms, and applications*. Cambridge University Press.
- Johnson, N. F., Duric, Z., & Jajodia, S. (2001). Information hiding: Steganography and watermarking—Attacks and countermeasures. *Information Security Technical Report*, 6(3), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S1363-4127\(01\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S1363-4127(01)00042-4)

- Katzenbeisser, S., & Petitcolas, F. A. P. (2000). *Information hiding techniques for steganography and digital watermarking*. Artech House.
- Khuzaifi, A., Fauziah, F., & Fitri, I. (2022). Teknik steganography untuk menyisipkan pesan pada sebuah citra menggunakan metode least significant bit (LSB). *JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)*, 6(3), 417–423. <https://doi.org/10.35870/jtik.v6i3.461>
- Kunhoth, J., Subramanian, N., Al-Maadeed, S., & Bouridane, A. (2023). Video steganography: Recent advances and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, 82(27), 41943–41985. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14844-w>
- Morkel, T., Eloff, J. H. P., & Olivier, M. S. (2005). An overview of image steganography. *Proceedings of the Fifth Annual Information Security South Africa Conference (ISSA)*, 1–11.
- Rahman, S., Uddin, J., Hussain, H., Ahmed, A., Khan, A. A., Zakarya, M., Rahman, A., & Haleem, M. (2023). A Huffman code LSB-based image steganography technique using multi-level encryption and achromatic component of an image. *Scientific Reports*, 13(1), 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41303-1>
- Singh, K., & Singh, K. (2017). Image steganography techniques: A survey. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 15(4), 426–438.
- Susanto, A., Sinaga, D., & Mulyono, I. U. W. (2024). PSNR and SSIM performance analysis of Schur decomposition for imperceptible steganography. *Scientific Journal of Informatics*, 11(3), 803–810. <https://doi.org/10.15294/sji.v11i3.9561>