

Steganografi Video Adaptif Multi-Bit dengan Penentuan Posisi, Jumlah Bit, dan Intensitas Embedding Berdasarkan Analisis Kecerahan, Tekstur, dan Gerakan Frame

Annida Akmalia Anddini¹, Fiky Anggara^{2*}, Aqhlia Nur Fahma³,
Nur Diva Riski Irvan⁴, Aufa Nabith Fadlu Ramanda⁵

^{1,2,3,4,5} Sekolah Tinggi Teknologi Bontang, Indonesia

Email: annidaakmand@gmail.com¹, fikyanggara@stitek.ac.id^{2*}, aqhlianrmdnhi@gmail.com³,
miladypaa@gmail.com⁴, nabithaufanabith@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: fikyanggara@stitek.ac.id

Abstract. This research aims to enhance the imperceptibility of secret messages in video steganography to prevent detection by third parties. Unlike cryptography, which focuses on securing the message content, this method seeks to conceal the very existence of the message by maintaining a visual quality nearly identical to the original video. The proposed approach utilizes an adaptive multi-bit scheme based on the Least Significant Bit (LSB) technique, which intelligently analyzes the local characteristics of each frame, including brightness, texture, and motion. This strategy allows for higher data insertion in areas with high visual tolerance while limiting bits in sensitive areas to prevent distortion. Evaluation results using PSNR and SSIM metrics indicate that while increasing message capacity (from 1-bit to 3-bit) reduces the PSNR from 51.80 dB to 39.44 dB, the method remains highly effective in preserving visual integrity. Overall, this technique proves to be more secure and superior to traditional LSB in balancing storage capacity with high-quality video output.

Keywords: Adaptive LSB; Multi-Bit; PSNR; SSIM; Video Steganography.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan aspek ketidaktampakan (*imperceptibility*) pesan rahasia dalam steganografi video guna menghindari kecurigaan pihak ketiga. Berbeda dengan kriptografi yang fokus pada keamanan isi, metode ini berupaya menjaga kerahasiaan keberadaan pesan dengan menghasilkan kualitas visual yang menyerupai video asli. Pengembangan dilakukan melalui skema adaptif *multi-bit* berbasis teknik *Least Significant Bit* (LSB) yang secara cerdas menganalisis karakteristik lokal setiap bingkai (*frame*), meliputi tingkat kecerahan, tekstur, dan gerakan. Strategi ini memungkinkan penyisipan data lebih banyak pada area dengan toleransi visual tinggi, namun tetap membatasi penyisipan pada area sensitif guna mencegah distorsi. Hasil evaluasi menggunakan metrik PSNR dan SSIM menunjukkan bahwa meskipun peningkatan kapasitas pesan (dari 1-bit ke 3-bit) menurunkan nilai PSNR dari 51,80 dB menjadi 39,44 dB, metode ini tetap efektif mempertahankan kualitas visual yang tinggi. Secara keseluruhan, teknik ini terbukti lebih aman dan unggul dibandingkan LSB tradisional dalam menyeimbangkan antara kapasitas penyimpanan dan integritas visual video.

Kata kunci: LSB Adaptif; Multi-Bit; PSNR; SSIM; Steganografi Video.

1. LATAR BELAKANG

Steganografi merupakan bidang ilmu dan seni yang fokus pada penyembunyian data atau pesan dalam media digital seperti video, dengan melakukan perubahan data yang sangat halus agar keberadaan pesan tersebut tidak dapat dideteksi oleh orang luar. Berbeda dari kriptografi, yang bertujuan untuk mengacak makna pesan. Salah satu metode steganografi dasar yang umum digunakan adalah Least Significant Bit (LSB), yang melibatkan penyisipan pesan ke dalam bit paling rendah (bit terakhir) dari setiap unit data pada media pembawa. Perubahan bit LSB menyebabkan variasi nilai intensitas piksel yang sangat kecil, sehingga secara visual tidak tampak (tidak terlihat). Teknik penyisipan bisa dilakukan secara berurutan atau acak, di mana penyisipan acak memerlukan kunci rahasia (*stego-key*) untuk mengambil pesan dengan benar. (Kurniawan, 2024) (Aditya, 2010)

Untuk menilai efektivitas penyembunyian data dan kualitas tampilan visual pada media yang telah dimodifikasi, dibutuhkan metrik evaluasi yang peka terhadap perubahan struktural dan numerik. Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) merupakan salah satu metode dasar yang digunakan untuk menentukan kualitas gambar hasil atau yang telah direkonstruksi, dengan nilai dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Semakin tinggi nilai PSNR, semakin baik kualitas visual dan tingkat ketidakterdeteksian gambar yang dihasilkan, dan sebaliknya. Di samping PSNR, algoritma Structural Similarity Index Measure (SSIM) juga berperan penting sebagai alat pengukuran yang mengevaluasi kualitas gambar dengan membandingkan aspek-aspek struktural seperti kecerahan, kontras, dan struktur. SSIM telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian karena kemampuannya menganalisis perbedaan struktural dan mendeteksi anomali, sehingga memberikan validasi yang kuat terkait tingkat kesamaan visual antara media asli dan media yang telah disisipi data. (Fajrin, 2016) (Sari M. P., 2025) (Sumarna, 2020)

Berdasarkan data uji coba, pendekatan framerate 1-bit memberikan hasil visual terbaik (PSNR 51.80 dB, SSIM 0.9890), tetapi kapasitas penyembunyian datanya terbatas. Di sisi lain, metode framerate 3-bit memperbesar kapasitas penyembunyian hingga tiga kali lipat, meskipun kualitas gambar menurun drastis (PSNR 39.44 dB, SSIM 0.8292). Sementara itu, teknik multi-bit adaptif menawarkan kinerja paling harmonis dengan skor PSNR 45.54 dB dan SSIM 0.9432, berkat kemampuannya menyesuaikan jumlah bit serta kekuatan penyembunyian berdasarkan sifat piksel. Oleh karena itu, metode multi-bit adaptif dianjurkan sebagai solusi paling optimal untuk mencapai keseimbangan antara kualitas tampilan, volume penyembunyian, dan daya tahan terhadap gangguan dalam aplikasi steganografi video.

2. KAJIAN TEORITIS

Steganografi

Steganografi adalah teknik untuk menyembunyikan pesan rahasia sehingga tidak mudah terdeteksi oleh orang lain, baik secara visual maupun melalui analisis data. Istilah ini berasal dari kata Yunani "steganos" yang berarti tersembunyi dan "graphy" yang berarti tulisan. Fokus utama steganografi bukan hanya melindungi isi pesan, tetapi juga menyamarkan keberadaan pesan itu sendiri. (Hani , 2020)

Least Significant Bit (LSB)

Least Significant Bit (LSB) merupakan salah satu metode steganografi yang digunakan untuk menyembunyikan pesan rahasia ke media digital dengan cara memodifikasi bit paling rendah nilainya pada data media tersebut. Bit ini disebut least significant bit karena memiliki pengaruh paling kecil terhadap nilai keseluruhan data, sehingga perubahan yang terjadi hampir

tidak dapat dideteksi oleh indera manusia. Metode LSB paling umum diterapkan pada media gambar digital, khususnya pada gambar berformat BMP dan PNG, karena format tersebut tidak menggunakan kompresi lossy yang dapat merusak data tersembunyi. (Hafiz, 2019)

Multi-bit LSB

Multi-Bit LSB adalah perkembangan teknik Least Significant Bit (LSB) untuk meningkatkan kapasitas penyembunyian data (hiding capacity). Dalam metode ini, sejumlah N bit pesan rahasia disisipkan ke dalam N bit terendah dari nilai piksel. Namun, semakin tinggi nilai N, semakin signifikan pula perubahan pada nilai piksel tersebut. Hal ini berpotensi menimbulkan distorsi dan membuat stego-video lebih rentan terdeteksi oleh teknik steganalisis. (Hamrul, Awaldi, Suhardi, & Heri, 2022)

Evaluasi Model

Salah satu pendekatan evaluasi yang umum digunakan adalah pengukuran kualitas objektif menggunakan metrik seperti Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Structural Similarity Index Measure (SSIM).

Peak Signal-to-Noise Rasio (PSNR)

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) merupakan salah satu metode pengukuran kualitas citra digital yang paling umum digunakan dalam bidang pengolahan citra dan video. PSNR digunakan untuk membandingkan citra hasil pemrosesan, seperti kompresi, dengan citra asli sebagai referensi. Nilai PSNR dinyatakan dalam satuan desibel (dB) dan menunjukkan perbandingan antara daya sinyal maksimum dengan daya derau (noise) yang terdapat pada citra hasil pemrosesan. Semakin tinggi nilai PSNR, maka semakin kecil tingkat distorsi yang terjadi dan semakin baik kualitas citra yang dihasilkan. (Ashillah, Gulo, & Rahmi, 2025)

Structural Similarity Indeks Measure

Structural Similarity Index Measure (SSIM) merupakan suatu metode evaluasi citra yang digunakan untuk menilai sejauh mana dua gambar memiliki kemiripan, dengan mempertimbangkan aspek utama, yaitu struktur korelasi pola antarpiksel dan Nilai SSIM dihitung menggunakan persamaan. Berbeda dengan pendekatan pengukuran kesalahan konvensional yang hanya menghitung selisih piksel secara langsung, SSIM mengadopsi prinsip persepsi visual manusia (Human Visual System) dalam menilai kualitas citra, sehingga mampu memberikan hasil evaluasi yang lebih mendekati penilaian subjektif manusia. (A, E, & H, 2020) (Sari, Yuanda, & Daniati, 2025)

2. METODE PENELITIAN

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan metode Steganografi Video Adaptif Multi-Bit yang dapat menyisipkan data rahasia ke dalam video cover serta menjaga kualitas visualnya agar penyisipan tetap tidak terdeteksi. Secara spesifik, penelitian ini fokus pada:

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis Kuantitatif Eksperimental, yang meliputi:

1. Kuantitatif: Data yang dikumpulkan dan dianalisis berupa numerik dari pengukuran kinerja, seperti Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM), dan kapasitas penyisipan (dalam satuan bit per piksel) (Yunus, 2014).
2. Eksperimental: Penelitian ini melibatkan pengembangan dan pengujian sistem atau algoritma baru dengan cara memodifikasi variabel tertentu (seperti jumlah bit yang disisipkan) pada objek penelitian (video), lalu mengevaluasi dampaknya terhadap variabel hasil (kualitas visual dan kapasitas penyisipan) (Nirsal, Judijanto, & dkk, 2025).

Persiapan Data

Persiapan data di bagi menjadi dua yaitu:

Data Cover

Mengumpulkan dan memilih sampel video digital (video cover) dengan berbagai resolusi dan tingkat kompleksitas (misalnya, video dengan gerakan cepat, lambat, serta tekstur yang beragam). Format video yang digunakan harus memungkinkan akses bingkai demi bingkai (seperti format AVI atau MP4 dengan pengkodean tertentu).

Data Rahasia

Menyiapkan data rahasia (seperti teks, gambar biner, atau aliran data) yang akan disisipkan.

Pengembangan Algoritma Adaptif

Tahap ini merupakan inti utama dari penelitian, di mana teknik Least Significant Bit (LSB) dasar dikembangkan menjadi pendekatan adaptif. Analisis Karakteristik Lokal:

Kecerahan

Menghitung nilai rata-rata kecerahan (luminance) dari setiap blok piksel dalam bingkai.

Tekstur

Menghitung variansi atau deviasi standar piksel di dalam blok untuk menilai tingkat tekstur. Nilai variansi yang rendah menunjukkan area yang halus, sedangkan nilai tinggi menandakan area yang kaya tekstur.

Gerakan

Menggunakan algoritma estimasi gerakan untuk mendeteksi vektor gerakan antar bingkai. Area yang bergerak lambat memiliki toleransi tinggi terhadap perubahan piksel.

Penetapan Aturan Adaptif

Berdasarkan ambang batas dari ketiga karakteristik tersebut, setiap blok atau piksel diklasifikasikan ke dalam kategori toleransi

1. Toleransi Tinggi (Kapasitas 3 bit)
Area gelap, dengan tekstur rendah, dan gerakan lambat.
2. Toleransi Sedang (Kapasitas 1 bit)
Area yang tidak termasuk dalam kategori tinggi atau rendah.
3. Toleransi Rendah/Nol
Area yang sangat terang, tekstur sangat kaya, atau gerakan sangat cepat (usaha untuk menggunakan 0 bit atau minimal 1 bit).

Penilaian Kualitas Visual (Invisibilitas)

Mengukur distorsi visual antara video cover asli dan video stego menggunakan:

1. PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)
Diukur dalam desibel (dB). Semakin tinggi nilai PSNR, semakin baik kualitasnya (idealnya PSNR > 40 dB). Rumusnya adalah (Solichin, 2015) (Zulfikar & Hermanto , 2025):

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right)$$

2. Indeks Kesamaan Struktural
Menilai kesamaan struktur; memiliki rentang antara 0 hingga 1. Nilai yang mendekati 1 menunjukkan kualitas visual yang tinggi.
3. Evaluasi Kapasitas
Menghitung rasio Bit Per Piksel (BPP) atau jumlah total data rahasia yang berhasil disisipkan.
4. Perbandingan Kinerja
Menganalisis hasil dari penyisipan 1 bit dan 3 bit secara adaptif, serta membandingkannya dengan hasil teknik LSB non-adaptif 1 bit yang konvensional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Data dan Implementasi Algoritma

Perbandingan kinerja secara kuantitatif di antara berbagai skema ditampilkan dalam Tabel 1, yang meringkas hasil penilaian terhadap kualitas visual, kapasitas penyisipan data, dan tingkat ketahanan. Tabel 1 secara khusus membandingkan tiga metode, yaitu LSB 1 bit Framerate, LSB 3 bit Framerate, dan Multi-Bit (Adaptif), dengan fokus pada aspek penentuan posisi penyisipan, jumlah bit yang digunakan, serta intensitas proses embedding.

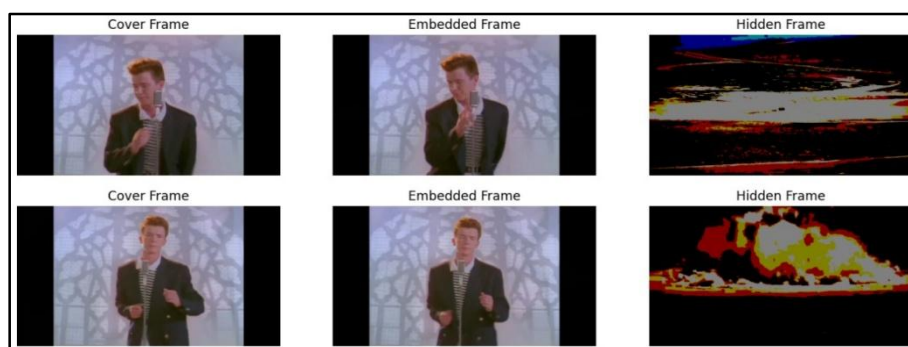
Table 1. Perbandingan kinerja secara kuantitatif.

Parameter	1-Bit Framerate	3-Bit Framerate	Multi-Bit (Adaptif)
PSNR (dB)	51.80	39.44	45.54
SSIM	0.9890	0.8292	0.9432
Kualitas Visual (CoverEmbedded)	Hampir identik	Perbedaan terlihat (blur)	Mirip, sedikit degradasi
Kualitas Frame Tersembunyi	Buruk, warna acak	Lebih jelas, masih terdistorsi	Baik, pola dan objek dapat dikenali

Hasil Evaluasi Kualitas Visual dan Kapasitas

Dominasi Kualitas Visual (Skema 1-Bit)

Skema 1-Bit Framerate menunjukkan keunggulan mutlak dalam hal kualitas visual, dengan nilai PSNR sebesar 51,0 dB dan SSIM sebesar 0,9890. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa distorsi yang terjadi sangat kecil, sehingga video hasil penyisipan data (stego-video) hampir sama persis dengan video asli. Namun, keunggulan ini diperoleh dengan mengorbankan kapasitas penyisipan data yang sangat terbatas.



Gambar 1. Perbandingan Video Rahasia dari Hasil Skema 1 Bit.

Rade-off Kapasitas vs Kualitas (Skema 3-Bit)

Di sisi lain, Skema 3-Bit Framerate menawarkan peningkatan kapasitas penyisipan yang cukup besar (dalam kategori sedang), tetapi hal ini menyebabkan penurunan kualitas visual yang signifikan. Nilai PSNR turun drastis menjadi 39,44 dB, dan SSIM menjadi 0,8292.

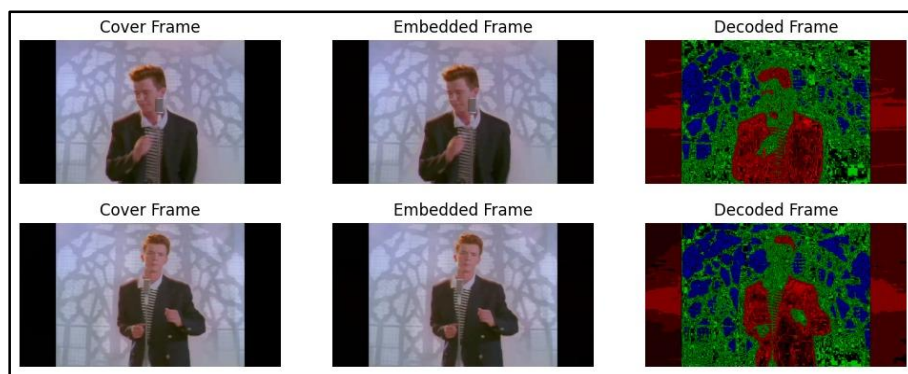
Distorsi visual yang dilaporkan berupa "perbedaan yang terlihat (kabur)", yang menunjukkan kegagalan dalam menjaga prinsip ketidakterlihatan pada steganografi.



Gambar 2. Perbandingan Video Rahasia dari Hasil Skema 3 Bit.

Keunggulan Skema Multi-Bit Adaptif

Skema Multi-Bit (Adaptif) berhasil memberikan keseimbangan yang optimal. Meskipun kapasitas penyisipannya tinggi (dengan pendekatan adaptif), kualitas visual tetap terjaga pada tingkat yang baik, dengan PSNR sebesar 45,54 dB dan SSIM sebesar 0,9432. Peningkatan PSNR sebesar 6,10 dB dibandingkan dengan Skema 3-Bit Tradisional membuktikan efektivitas mekanisme adaptif, yang menempatkan 3 bit data hanya pada area video yang memiliki toleransi visual tinggi (seperti area gelap, tekstur rendah, atau gerakan lambat), sehingga mengurangi distorsi yang dihasilkan.



Gambar 3. Perbandingan Video Rahasia dari Hasil Skema Multi Bit Adaptif.

Keterkaitan Hasil dengan Konsep Dasar Steganografi

Hasil penelitian ini secara jelas membuktikan kebenaran konsep dasar trade-off dalam steganografi, yang melibatkan tiga parameter utama: Kapasitas (jumlah data yang bisa disisipkan), Kualitas (atau Invisibilitas, yaitu tingkat ketidakterlihatan perubahan), dan Ketahanan (kemampuan menahan deteksi atau serangan). Dimana Skema 1 bit memprioritaskan Kualitas dengan mengorbankan Kapasitas, Skema 3 bit memprioritaskan

Kapasitas dengan mengorbankan Kualitas, sedangkan Skema Multi-Bit Adaptif berhasil mencapai keseimbangan di antara ketiga parameter tersebut.

Peningkatan nilai PSNR dan SSIM yang signifikan dibandingkan dengan skema 3 bit menunjukkan bahwa analisis terhadap kecerahan, tekstur, dan gerakan video efektif dalam mengurangi Mean Squared Error (MSE), yang merupakan komponen utama dalam perhitungan PSNR.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini kami berhasil menciptakan metode baru untuk menyembunyikan pesan di dalam video (steganografi) yang jauh lebih pintar dan efisien. Fokus kami adalah bagaimana agar pesan yang dimasukkan tidak terlihat sama sekali. Kami mengembangkan teknik *Multi-Bit Adaptif*, yang pada dasarnya adalah sistem yang cerdas memilih tempat untuk menaruh pesan.

Teknik ini menganalisis setiap bagian video (berdasarkan kecerahan, tekstur, dan gerakan) untuk mengetahui di mana mata manusia paling tidak peka terhadap perubahan. Di area yang aman (misalnya area gelap atau bergerak cepat), kami berani memasukkan lebih banyak bit pesan.

Hasil pengujian membuktikan keunggulannya. Metode Multi-Bit Adaptif menghasilkan kualitas video yang tetap sangat baik (PSNR 45.54 dB), jauh lebih baik daripada metode lama yang serampangan memasukkan 3 bit (hanya 39.44 dB), sementara kapasitas pesan yang bisa dibawa tetap tinggi. Ini membuktikan bahwa analisis multi-domain adalah kunci untuk menyeimbangkan antara seberapa banyak pesan yang bisa dibawa dengan seberapa baik kualitas visualnya.

Kami menemukan bahwa metode ini masih cukup rumit untuk diimplementasikan. Oleh karena itu, bagi penelitian selanjutnya, kami sangat menganjurkan untuk fokus pada bagaimana mengoptimalkan kecepatan komputasinya. Agar proses penyembunyian dan ekstraksi pesan bisa dilakukan lebih cepat. Selain itu, menambahkan lapisan keamanan kriptografi tambahan pada peta adaptif juga penting untuk membuatnya kebal terhadap upaya deteksi.

DAFTAR REFERENSI

- A., D. H., E., U., & H., B. S. (2020). Tinjauan literatur sistematis tentang *Structural Similarity Index Measure* untuk deteksi anomali gambar. *CITEC Journal*, 7(2), 76. <https://doi.org/10.24076/citec.2020v7i2.248>
- Aditya, Y. P. (2010). Studi pustaka untuk steganografi dengan beberapa metode. Dalam *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI 2010)*. Yogyakarta.

- Ashillah, S., Gulo, S., & Rahmi, Y. (2025). Implementasi algoritma pengolahan citra digital untuk perbaikan kualitas gambar. *SISKOM-KB*, 8(3). <https://doi.org/10.47970/siskom-kb.v8i3.823>
- Fajrin, H. R. (2016). Perbandingan metode untuk perbaikan kualitas citra. *Jurnal SIMETRIS*, 7(2), 661–668. <https://doi.org/10.24176/simet.v7i2.778>
- Hafiz, A. (2019). Steganografi berbasis citra digital untuk menyembunyikan data menggunakan metode *least significant bit* (LSB). Academia.edu.
- Hamrul, H., Awaldi, Suhardi, & Heri, A. (2022). Steganografi berbasis citra digital menggunakan kombinasi multi-bit LSB dan Hill cipher. *Jurnal Ilmiah Information Technology d'Computare*, 12(2). <https://doi.org/10.30605/dcomputare.v12i2.47>
- Hani, K. (2020). Algoritma kriptografi dan steganografi. Etheses Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Kurniawan, W. M. (2024). Implementasi steganografi pada video. Institut Teknologi Bandung.
- Nirsal, Judijanto, L., & dkk. (2025). Riset bidang komputer. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Sari, M. P. (2025). Perbandingan kemiripan gambar kecerdasan buatan dan karya manusia menggunakan metode SSIM. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi (SEMNAS INOTEK)* (hlm. 2452).
- Sari, M. P., Yuanda, K. P., & Daniati, E. (2025). Perbandingan kemiripan gambar kecerdasan buatan dan karya manusia menggunakan metode SSIM. *INOTEK*, 2453–2454.
- Solichin, A. (2015). Mengukur kualitas citra hasil steganografi. Academia.edu.
- Sumarna, H. B. (2020). Tinjauan literatur sistematik tentang *Structural Similarity Index Measure* untuk deteksi anomali gambar. *CITEC Journal*, 7(2), 76. <https://doi.org/10.24076/citec.2020v7i2.248>
- Yunus, M. H. (2014). Penyembunyian data pada file video menggunakan metode LSB dan DCT. *Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems*, 8(2), 81–92. <https://doi.org/10.22146/ijccs.3498>
- Zulfikar, D. H., & Hermanto. (2025). Hamming code in JPEG image steganography within the discrete cosine transform domain. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(3), 5. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i3.9387>