

REVERSIBLE DATA HIDING PADA GAMBAR DIGITAL DENGAN SISTEM OTENTIKASI TERINTEGRASI

Bambang Ari Wahyudi¹, Irma Palupi², Muhammad Fadhlan Putranto^{*3}

^{1,2}Universitas Telkom, Bandung, ³Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bandung
Email: ¹bambangari@telkomuniversity.ac.id, ²irmapalupi@telkomuniversity.ac.id,
³muhammad.fadhlan.putranto@brin.go.id
*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 02 Desember 2024, diterima untuk diterbitkan: 29 Oktober 2025)

Abstrak

Reversible Data Hiding (RDH) adalah salah satu metode yang efektif dalam steganografi, yang memungkinkan penyisipan informasi ke dalam media digital, seperti gambar, dengan kemampuan untuk memulihkan data asli sepenuhnya setelah informasi yang disisipkan diekstraksi. Dengan mengkombinasikan menggunakan Personal Identification Number (PIN), pemilik karya seni dapat menjalankan proses penyisipan data, ekstraksi data, serta validasi gambar. PIN berfungsi sebagai mekanisme keamanan yang membatasi akses hanya kepada pemilik yang sah, sehingga memastikan perlindungan data serta mencegah manipulasi atau akses tidak sah terhadap karya digital. Selain itu, PIN digunakan untuk menentukan lokasi piksel yang dapat dimodifikasi pada gambar. Dataset yang digunakan adalah sepuluh gambar digital dengan ukuran piksel 720 x 1280 yang terdiri dari lima gambar digital berwarna dan lima gambar hitam putih. Hasil pengujian sistem yang dibuat menunjukkan sistem yang dibangun bekerja dengan baik dimana gambar hasil ekstraksi berkualitas baik dengan perbedaan kecil yang mungkin terlihat namun umumnya tidak mengganggu dengan nilai PSNR gambar berwarna adalah 38.076 db dan rata-rata PSNR gambar hitam putih 50.58. Sedangkan untuk pengujian SSIM nilai pengujian rata-rata 0.98 yang berarti secara struktural kedua gambar sama. Kapasitas penyimpanan informasi untuk gambar berwarna sebesar 13.05% sedangkan untuk gambar hitam putih sebesar 66.88%.

Kata kunci: *Steganography, RDH, PIN, PSNR, SSIM*

REVERSIBLE DATA HIDING IN DIGITAL IMAGES WITH AN INTEGRATED AUTHENTICATION

Abstract

Reversible Data Hiding (RDH) is an effective method in steganography that enables the embedding of information into digital media, such as images, with the ability to fully recover the original data once the embedded information has been extracted. By integrating the use of a Personal Identification Number (PIN), the owner of a work of art can carry out the processes of data embedding, data extraction, and image validation. The PIN functions as a security mechanism that restricts access exclusively to the rightful owner, thereby ensuring data protection and preventing unauthorized manipulation or access to the digital artwork. Additionally, the PIN is employed to identify specific pixel locations that can be altered within the image. The dataset used consists of ten digital images with a resolution of 720 x 1280 pixels, consisting of five colored images and five grayscale images. The results of the system evaluation indicate that the extracted images maintain high quality, with minimal differences that are generally imperceptible where the PSNR for colored images is 38.076 dB, and the average PSNR for grayscale images is 50.58 dB. Meanwhile, SSIM testing yielded an average value of 0.98, signifying that the structural similarity between the original and extracted images is nearly identical. The information storage capacity for colored images was measured at 13.05%, whereas for grayscale images, it reached 66.88%.

Keywords: *Steganography, RDH, PIN, PSNR, SSIM*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah melahirkan berbagai bentuk seni baru, termasuk gambar digital. Namun, saat ini gambar digital masih menghadapi tantangan dalam hal verifikasi kepemilikan atau hak cipta yang efektif dan mudah diakses. Sistem yang

ada belum cukup memadai untuk memastikan perlindungan hak cipta serta otentikasi karya secara praktis, sehingga diperlukan solusi yang lebih canggih untuk menjamin keaslian dan kepemilikan gambar digital tersebut.

Reversible Data Hiding (RDH) salah satu metode dalam steganografi yang memungkinkan

penyisipan informasi ke dalam gambar digital, dengan kemampuan untuk mengekstraksi kembali informasi tersebut tanpa menyebabkan kerusakan permanen pada gambar asli (Shi, 2016). Teknik ini memastikan bahwa gambar dapat dipulihkan sepenuhnya setelah informasi yang disisipkan diambil, sehingga menjaga integritas data visual sekaligus mendukung penyembunyian dan pengiriman informasi secara aman. Berbagai teknik RDH telah dikenalkan (P. Puteaux, 2021., S. Zhong, 2023., Xiong, 2019., Malik, 2019) dan diterapkan dalam berbagai kasus, seperti penyembunyian informasi sensitif terkait data pasien pada citra x-ray (Putranto, 2018), serta pemanfaatan metode RDH dalam telemedis (Zhang, 2022) dan sistem validasi ijazah (Ramdhani, 2022). Penggunaan ini menunjukkan potensi RDH dalam menjaga kerahasiaan data sekaligus memastikan integritas dan validitas informasi dalam berbagai konteks digital.

Pada penelitian ini, Reversible Data Hiding (RDH) akan dikombinasikan dengan Personal Identification Number (PIN). Penggunaan metode RDH memerlukan penyesuaian, terutama dalam konteks karya digital, di mana dibutuhkan sistem autentikasi yang efektif untuk memudahkan seniman dalam memverifikasi keaslian gambar digital yang telah mereka ciptakan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan kepercayaan diri seniman terhadap keaslian karya mereka, tetapi juga memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap hak cipta dan kepemilikan intelektual agar mampu bersaing secara global (Wang, 2021). Dalam implementasinya, PIN tidak hanya berfungsi sebagai mekanisme autentikasi, tetapi juga digunakan untuk menghasilkan sekumpulan bilangan acak yang berperan dalam proses pemilihan lokasi penyimpanan data. Daftar bilangan acak tersebut menentukan area pada citra digital yang dapat dimodifikasi, sehingga memastikan selektivitas dan kontrol dalam proses perubahan data tanpa mengurangi integritas informasi visual.

2. METODE PENELITIAN

Sistem yang dirancang dalam penelitian ini terdiri dari tiga komponen utama. Komponen pertama adalah penyisipan data, yang bertujuan untuk memasukkan informasi ke dalam gambar digital tanpa merusak kualitas asli gambar tersebut. Komponen kedua adalah ekstraksi data, di mana informasi yang telah disisipkan dapat diambil kembali secara utuh tanpa mengurangi integritas gambar. Komponen ketiga adalah validasi gambar, yang berfungsi untuk memastikan bahwa gambar tersebut asli dan belum mengalami perubahan yang tidak sah, serta untuk memverifikasi kepemilikan atau hak cipta gambar digital tersebut. Sistem yang akan dibangun menggunakan bahasa python.

Proses otentikasi memainkan peran krusial dalam sistem ini, karena menentukan efektivitas validasi gambar dalam memastikan keaslian dan

integritas karya. Jenis otentikasi yang digunakan adalah Personal Identification Number, yang terdiri dari enam digit angka. Dengan menggunakan PIN ini, pemilik karya seni dapat menjalankan proses penyisipan data, ekstraksi data, serta validasi gambar. PIN berfungsi sebagai mekanisme keamanan yang membatasi akses hanya kepada pemilik sah, sehingga menjaga perlindungan data dan mencegah manipulasi atau akses tidak sah terhadap karya digital tersebut.



(a) Gambar Digital Berwarna 01



(f) Gambar Digital Hitam Putih 01



(b) Gambar Digital Berwarna 02



(g) Gambar Digital Hitam Putih 02



(c) Gambar Digital Berwarna 03



(h) Gambar Digital Hitam Putih 03



(d) Gambar Digital Berwarna 04



(i) Gambar Digital Hitam Putih 04



(e) Gambar Digital Berwarna 05



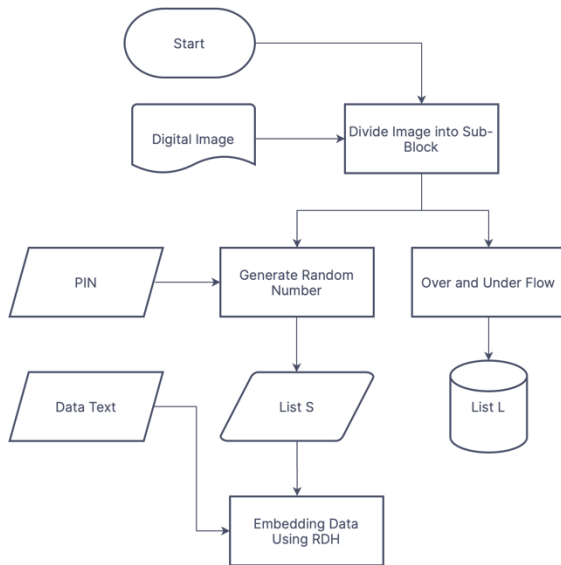
(j) Gambar Digital Hitam Putih 05

Gambar 1. Gambar Berwarna

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berupa gambar karya digital yang diunduh dari situs <https://www.freepik.com> dengan menggunakan dua kategori yaitu “digital art background” sebanyak lima gambar dan “black white background” sebanyak lima gambar yang merupakan gambar hasil kecerdasan buatan (AI) (Freepik, 2025). Gambar yang digunakan dalam penelitian ini dikategorikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu gambar berwarna dan gambar hitam putih. Klasifikasi ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan karakteristik antara kedua jenis gambar. Gambar yang digunakan sebagai dataset dapat dilihat pada Gambar 1,

2.1. Penyisipan Data

Penyisipan data merupakan proses memasukkan informasi rahasia ke dalam sebuah gambar digital, di mana PIN (Personal Identification Number) digunakan sebagai kunci enkripsi untuk menjaga kerahasiaan data yang disisipkan. Penggunaan PIN dalam proses ini memastikan bahwa hanya pihak yang memiliki akses otentikasi yang valid dapat mengekstraksi atau memodifikasi data yang tersembunyi. Penjelasan terkait proses penyisipan data dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Penyisipan Data

Pada proses penyisipan data, gambar digital dipecah menjadi sub-blok berukuran 3x3 piksel. Pendekatan ini memungkinkan distribusi informasi rahasia secara merata di seluruh gambar, serta menjaga kualitas visual gambar asli. Sub blok tersebut akan direpresentasikan dengan $C_{i,j}$ ($1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq 9$). N digunakan untuk menyatakan jumlah sub blok pada gambar dan j untuk memberitahukan posisi piksel dari sub blok.

$C_{1,1}$	$C_{1,2}$	$C_{1,3}$
$C_{2,1}$	$C_{2,2}$	$C_{2,3}$
$C_{3,1}$	$C_{3,2}$	$C_{3,3}$

Gambar 3. Sub Blok

Penggunaan PIN ini bertujuan untuk menghasilkan daftar bilangan acak yang nantinya akan digunakan sebagai penanda sub-blok. Pada proses penentuannya akan di cek peluang tiap sub-bloknya untuk dipilih dengan aturan apabila nilai sub-blok lebih besar dari 0.99 maka sub-blok akan dipilih. Untuk setiap sub-blok yang sudah dipilih akan dihitung nilai S nya. Nilai S yang sudah diperoleh akan dikumpulkan menjadi sebuah List S.

$$S = \text{append} \left(\frac{\text{sum}(C_i)}{9} \right) \quad (1)$$

Untuk mencegah kerusakan atau distorsi pada gambar digital yang disebabkan oleh overflow dan

underflow selama proses histogram shifting, dilakukan pemetaan khusus terhadap piksel dengan nilai 255 dan 0. Pemetaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa nilai piksel tidak melampaui rentang intensitas yang diperbolehkan, sehingga kualitas gambar tetap terjaga. Prosedur pemetaan tersebut diilustrasikan dalam Persamaan 2.

$$C'_{ij} = \begin{cases} 254, & \text{jika } 255 = 255 \\ 1, & \text{jika } C_{i,j} = 0 \\ C_{i,j}, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2)$$

Hasil dari overflow dan underflow akan disimpan pada List L dan disimpan ke dalam basis data

List S yang sudah dibuat nantinya akan digabung dengan Data text lalu diubah kedalam bentuk bit karena akan mempercepat proses dalam proses penginputan dan ekstraksi (Malik, 2017). Sebelum dilakukan penginputan data biner tersebut kedalam gambar maka perlu menghitung nilai selisih piksel ($D_{i,j}$) dengan piksel tengahnya ($C_{2,2}$) pada tiap sub blok menggunakan persamaan 3.

$$D_{i,j} = C'_{ij} - C_{2,2} \quad (3)$$

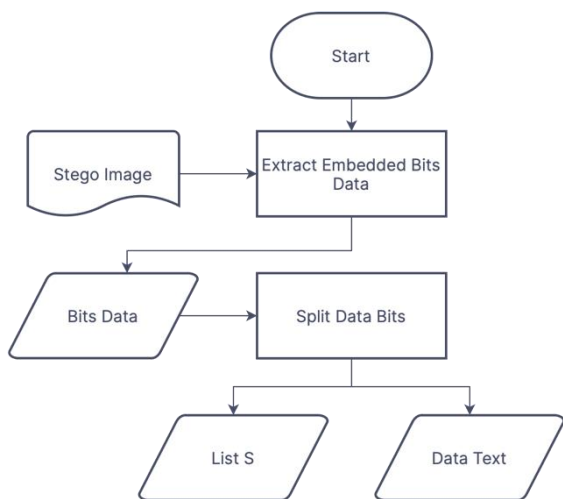
Nilai selisih tersebut nantinya akan memetakan perubahan pada sub blok. Pada pemetaan tersebut akan diatur kapan dan tidaknya data bit akan di sisipkan kedalam suatu piksel. Pemetaan tersebut terlihat pada persamaan 4.

$$C''_{ij} = \begin{cases} C'_{ij} - 1, & \text{jika } D_{i,j} < -1 \\ C'_{ij} - b, & \text{jika } D_{i,j} = -1 \\ C'_{ij} + b, & \text{jika } D_{i,j} = 0 \\ C'_{ij} + 1, & \text{jika } D_{i,j} > -1 \end{cases} \quad (4)$$

Setelah dilakukan proses penginputan data bit tersebut maka gambar digital yang baru telah dibuat dimana didalamnya sudah tersimpan informasi tersembunyi.

2.2. Ekstraksi Data

Proses ekstraksi data ini bertujuan untuk mengakses dan mengambil data yang tersimpan dalam gambar digital. Data yang diekstraksi terdiri dari dua komponen utama: pertama adalah List S yang berfungsi sebagai penunjuk atau penanda pada gambar, dan yang kedua adalah informasi rahasia yang telah disisipkan ke dalam gambar. Kedua komponen ini harus diambil secara akurat untuk memastikan integritas data yang tersembunyi serta memulihkan gambar asli tanpa kehilangan informasi atau kerusakan visual. Proses ekstraksi data dapat dilihat pada Gambar 4.

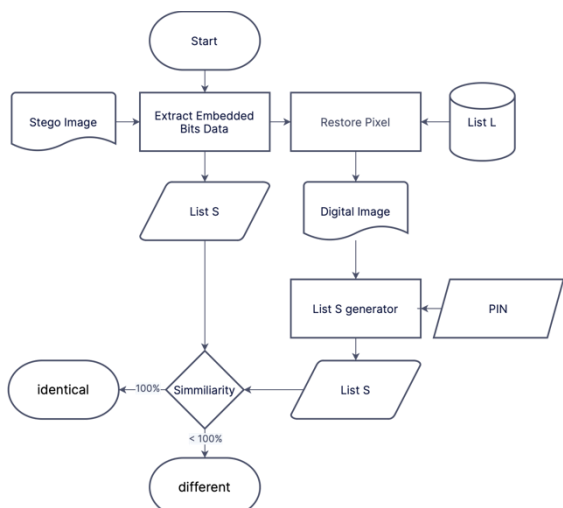


Gambar 4. Proses Ekstraksi Data

Pada gambar digital yang telah disisipi informasi, diperlukan proses ekstraksi data bit untuk mengeluarkan informasi yang tersembunyi di dalamnya. Persamaan 5 digunakan dalam melakukan ekstraksi tersebut.

$$b' = \begin{cases} 0, & \text{jika } C''_{ij} - C''_{22} = 0, -1 \\ 1, & \text{jika } C''_{ij} - C''_{22} = 1, -2 \end{cases} \quad (5)$$

Setelah data bit berhasil diekstraksi, langkah selanjutnya adalah melakukan proses pemisahan antara List S dan data pesan yang disisipkan. Proses pemisahan ini dapat dilakukan dengan menggunakan karakter atau tanda pemisah yang unik, yang sebelumnya telah ditentukan selama penyisipan data.



Gambar 5. Proses Validasi Gambar

2.3. Validasi Gambar

Proses validasi merupakan proses berkelanjutan dari proses ekstraksi data dimana gambar yang telah dilakukan ekstraksi akan stego ke dalam gambar digital akan dipisahkan, sehingga dihasilkan dua komponen: data bit dan gambar digital ekstraksi. Gambar digital tersebut merupakan hasil pemulihan dari gambar stego setelah dilakukan proses ekstraksi.

Dengan menggunakan informasi PIN dan gambar digital ekstraksi, List S dapat direkonstruksi. List S yang diperoleh dari proses ini kemudian dibandingkan dengan List S yang dihasilkan selama ekstraksi data. Jika kedua List S mempunyai kesamaan 100% maka gambar tersebut tersebut identik dan keaslian gambar digital dapat dipastikan tidak mengalami perubahan selama proses penyisipan dan ekstraksi. Proses validasi gambar dapat dilihat pada Gambar 5.

3. ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini, akan dilakukan beberapa skenario pengujian untuk melihat apakah proses penyisipan data, ekstraksi data, dan validasi telah berjalan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan.

3.1. Pengukuran Kualitas Gambar

Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengukur kualitas gambar stegano dibandingkan dengan gambar asli setelah dilakukan proses ekstraksi data. Dalam pengujian ini, dua metrik utama akan digunakan, yaitu PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) dan SSIM (Structural Similarity Index). Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengukur kualitas gambar stegano dibandingkan dengan gambar asli.

Tabel 1. Pengaturan PIN dan Data Text

No	Nama	PIN	Text
1	Gambar Digital Berwarna 01	869399	Leonardo da Vinci 120323 nature art01
2	Gambar Digital Berwarna 02	286963	Henri Emile 010324 nature art02
3	Gambar Digital Berwarna 03	396451	Pablo Ruiz 180723 nature art03
4	Gambar Digital Berwarna 04	815244	Vincent Willem 301123 nature art04
5	Gambar Digital Berwarna 05	286963	Andy Warhol 080924 nature art05
6	Gambar Digital Hitam Putih 01	923397	Leonardo da Vinci 031224 black white01
7	Gambar Digital Hitam Putih 02	772169	Henri Emile 021120 black white02
8	Gambar Digital Hitam Putih 03	576664	Pablo Ruiz 200821 black white03
9	Gambar Digital Hitam Putih 04	914745	Vincent Willem 271122 black white04
10	Gambar Digital Hitam Putih 05	895157	Andy Warhol 181023 black white05

Dengan informasi PIN dan text yang diterima oleh sistem penyisipan data akan menentukan sub blok mana saja yang akan digunakan untuk menyimpan data berdasarkan PIN. Teks akan diubah kedalam bentuk bit dan digabung dengan bit dari List S. Total bit yang nantinya akan dimasukkan kedalam

subblock terdiri dari bit header, bit text, bit separator, dan bit List S. Bit header berukuran 16 bit yang berisi informasi Panjang data bit yang dimasukkan ke dalam gambar. Bit separator berukuran 16 bit untuk memisahkan bit text dan bit List S. Sedangkan bit text dan bit List S nilainya tergantung pada PIN dan text yang dimasukkan ke dalam sistem. Ukuran bit untuk text dan List S dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Informasi Bit

No	Nama	Bit Text	Bit List S
1	Gambar Digital Berwarna 01	304	25008
2	Gambar Digital Berwarna 02	256	24712
3	Gambar Digital Berwarna 03	248	24664
4	Gambar Digital Berwarna 04	280	24684
5	Gambar Digital Berwarna 05	256	24712
6	Gambar Digital Hitam Putih 01	312	24488
7	Gambar Digital Hitam Putih 02	264	24256
8	Gambar Digital Hitam Putih 03	256	24872
9	Gambar Digital Hitam Putih 04	288	24600
10	Gambar Digital Hitam Putih 05	264	24800

PSNR memberikan nilai satuan dalam (dB) dimana apabila nilai PSNR > 30 maka gambar masih dikatakan dapat diterima dengan baik (Chatterjee, 2020) sedangkan apabila nilai PSNR > 40 dB maka Kualitas gambar sangat baik (Setiadi, 2020). SSIM memberikan nilai antara -1 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan kesamaan struktural yang tinggi antara kedua gambar (Sara, 2019).

Tabel 3. Hasil PSNR dan SSIM

No	Nama	PSNR (dB)	SSIM
1	Gambar Digital Berwarna 01	35.97	0.98880
2	Gambar Digital Berwarna 02	38.74	0.98570
3	Gambar Digital Berwarna 03	39.32	0.98884
4	Gambar Digital Berwarna 04	37.21	0.97800
5	Gambar Digital Berwarna 05	39.14	0.98910
6	Gambar Digital Hitam Putih 01	35.85	0.96250
7	Gambar Digital Hitam Putih 02	52.55	0.99950
8	Gambar Digital Hitam Putih 03	53.83	0.99910
9	Gambar Digital Hitam Putih 04	59.09	0.99990
10	Gambar Digital Hitam Putih 05	51.59	0.99940

Pengujian yang dilakukan adalah dengan dengan membandingkan gambar asli dan gambar setelah ekstraksi menggunakan metrik PSNR dan SSIM. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Pengujian dengan menggunakan PSNR

menunjukkan nilai diatas 30 db yang berarti gambar hasil ekstraksi berkualitas baik dimana perbedaan kecil mungkin terlihat namun umumnya tidak mengganggu. Untuk rata-rata nilai PSNR gambar berwarna adalah 38.076 db dan rata-rata PSNR gambar hitam putih 50.58. Sedangkan untuk pengujian SSIM nilai pengujian rata-rata 0.98 yang berarti secara struktural kedua gambar sama.

3.2. Kapasitas Penyimpanan Gambar

Pada skenario ini, akan dilakukan pengujian untuk mengukur seberapa besar kapasitas penyisipan data dalam bentuk bit ke dalam piksel gambar digital. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah maksimum piksel yang dapat dimodifikasi. Gambar dengan ukuran 1280×720 yang terdiri dari 3 layer sehingga total piksel 2766960. Sedangkan jumlah piksel yang dapat dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 4. Kapasitas Penyimpanan

No	Nama	Piksel Modifikasi	%
1	Gambar Digital Berwarna 01	328734	11.88
2	Gambar Digital Berwarna 02	255117	9.22
3	Gambar Digital Berwarna 03	553232	19.99
4	Gambar Digital Berwarna 04	285992	10.34
5	Gambar Digital Berwarna 05	381773	13.80
6	Gambar Digital Hitam Putih 01	1392058	50.31
7	Gambar Digital Hitam Putih 02	1858536	67.17
8	Gambar Digital Hitam Putih 03	1873933	67.73
9	Gambar Digital Hitam Putih 04	2195812	79.36
10	Gambar Digital Hitam Putih 05	1932973	69.86

Dari hasil pengujian terlihat bahwa untuk gambar berwarna rata-rata piksel yang dapat dimodifikasi adalah 13.05% sedangkan untuk gambar hitam putih sebesar 66.88%.

3.3. Pengujian Otentikasi

Pada skenario ini, akan dilakukan pengujian otentikasi untuk memastikan bahwa nilai List S pada gambar digital hasil ekstraksi sesuai dengan List S yang tersimpan di dalam gambar asli. Data List S tersebut akan dibandingkan apabila semua nilai pada List S sama maka membuktikan bahwa tidak ada pihak eksternal yang melakukan perubahan atau manipulasi terhadap gambar digital.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem otentikasi telah mampu melakukan verifikasi terhadap List S untuk mendeteksi potensi manipulasi gambar yang dilakukan oleh pihak eksternal.

Tabel 6. Persentase Kesamaan List S

No	Nama	Jumlah Data List S	Persentase Kesamaan
1	Gambar Digital Berwarna 01	3126	100%
2	Gambar Digital Berwarna 02	3089	100%
3	Gambar Digital Berwarna 03	3083	100%
4	Gambar Digital Berwarna 04	3073	100%
5	Gambar Digital Berwarna 05	3089	100%
6	Gambar Digital Hitam Putih 01	3061	100%
7	Gambar Digital Hitam Putih 02	3032	100%
8	Gambar Digital Hitam Putih 03	3109	100%
9	Gambar Digital Hitam Putih 04	3075	100%
10	Gambar Digital Hitam Putih 05	3100	100%

4. KESIMPULAN

Dengan menggabungkan metode RDH dengan otentikasi PIN dalam konteks gambar digital membuat solusi yang lebih aman dan efisien untuk memverifikasi kepemilikan karya seni. RDH memungkinkan penyisipan informasi tambahan ke dalam gambar digital tanpa mengubah atau merusak kualitas gambar asli. Hal ini dibuktikan dengan rata-rata nilai PNSR yang di atas 30 db. Untuk rata-rata nilai PSNR gambar berwarna adalah 38.076 db dan rata-rata PSNR gambar hitam putih 50.58. Sedangkan untuk pengujian SSIM nilai pengujian rata-rata 0.98 yang berarti secara struktural kedua gambar sama.

Namun, perlu diperhatikan bahwa rata-rata kapasitas penyimpanan informasi dalam gambar digital dengan resolusi 720 x 1280 adalah 13.05% untuk gambar berwarna sedangkan untuk gambar hitam putih sebesar 66.88%.

Ketika RDH dikombinasikan dengan otentikasi berbasis PIN, sistem ini dapat memastikan bahwa hanya pemilik sah yang dapat mengakses dan memverifikasi data yang tersembunyi di dalam gambar. Pada pengujian otentikasi semua gambar memperoleh tingkat kesamaan 100%

DAFTAR PUSTAKA

- AZIZ, F., AHMAD, T., MALIK, A.H., UDDIN, M.I., AHMAD, S. AND SHARAF, M., 2020. Reversible data hiding techniques with high message embedding capacity in images. *PLOS ONE*, 15(5). doi: 10.1371/journal.pone.0231602
- CHATTERJEE, A., GHOSAL, S.K. AND SARKAR, R. (2020) 'LSB based steganography with OCR: An intelligent amalgamation', *Multimedia Tools and Applications*, 79(17–18), pp. 11747–11765. doi:10.1007/s11042-019-08472-6.
- FREEPIK, 2025. digital art background and black white background | Freepik [online] Available at: <<https://freepik.com/>> [Accessed 10 February. 2025].
- MALIK, A., SINGH, S. AND KUMAR, R., 2017. Recovery based high capacity reversible data hiding scheme using even-odd embedding. *Multimedia Tools and Applications*, 77(12), pp.15803–15827. doi: 10.1007/s11042-017-5156-1
- MALIK, A., WANG, H., CHEN, T., YANG, T., KHAN, A. N., WU, H., ... & HU, Y. 2019. Reversible data hiding in homomorphically encrypted image using interpolation technique. *Journal of Information Security and Applications*, 48, 102374. doi:10.1016/j.jisa.2019.102374
- P. PUTEAUX & W. PUECH. 2021. A Recursive Reversible Data Hiding in Encrypted Images Method With a Very High Payload," in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 23, pp. 636–650, doi: 10.1109/TMM.2020.2985537.
- PUTRANTO, M.F., BARMAWI, A.M. AND WAHYUDI, B.A., 2018. Permutation modification of reversible data hiding using difference histogram shifting in encrypted medical image. *Procedia Computer Science*, 135, pp.727–735. doi:10.1016/j.procs.2018.08.21
- RAMDHANI, T., WAHYUDI, B.A. AND YUNANTO, P.E., 2022. Validation system with reversible data hiding in digital diplomas. *2022 10th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, pp.124–128. doi: 10.1109/ICoICT55009.2022.9914852
- S. ZHONG, Y. LU & X. XIONG, "Reversible Data Hiding Algorithm in Encrypted Domain Based on Image Interpolation," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 108281–108294, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3321129.
- SARA, U., AKTER, M. AND UDDIN, M.S., 2019. Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*, 07(03), pp.8–18. doi:10.4236/jcc.2019.73002
- SETIADI, D.R., 2020. PSNR vs SSIM: Imperceptibility Quality Assessment for Image Steganography. *Multimedia Tools and Applications*, 80(6), pp.8423–8444. doi: 10.1007/s11042-020-10035-z
- SHI, Y.Q., LI, X., ZHANG, X., WU, H.-T. AND MA, B., 2016. Reversible data hiding: Advances in the past two decades. *IEEE Access*, 4,

- pp.3210–3237. doi:
10.1109/ACCESS.2016.2573308
- WANG, V. AND WANG, D., 2021. The impact of the increasing popularity of digital art on the current job market for artists. *Art and Design Review*, 09(03), pp.242–253. doi: 10.4236/adr.2021.93019
- YUAN, J., JIANG, Z., HUANG, P. AND CHEN, H., 2020. A reversible data hiding approach based on filter selection. *2020 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems (ICICAS)*, 10, pp.424–428. doi:10.1109/ICICAS51530.2020.00094
- XIONG, L., & DONG, D. 2019. Reversible data hiding in encrypted images with somewhat homomorphic encryption based on sorting block-level prediction-error expansion. *Journal of Information Security and Applications*, 47, 78-85. doi:10.1016/j.jisa.2019.04.005
- ZHANG, H., SUN, S., & MENG, F. 2022. A high-capacity and reversible patient data hiding scheme for telemedicine. *Biomedical Signal Processing and Control*, 76, 103706. doi:10.1016/j.bspc.2022.103706

Halaman ini sengaja dikosongkan