

Steganografi Gambar Menggunakan *Least Significant Bit Random Placement* Untuk Perlindungan Hak Cipta Manuskrip Lontar Bali Berbasis Android

Muhammad Akbar Hamid^{a1}, I Gede Arta Wibawa^{a2}, Agus Muliantara^{a3}, I Wayan Santiyasa^{a4}, Anak Agung Istri Ngurah Eka Karyawati^{a5}, I Made Widiartha^{a6}

^aProgram Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana
Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

¹muhakbarhamid21@gmail.com

²gede.arta@unud.ac.id

³muliantara@unud.ac.id

⁴santiyasa@unud.ac.id

⁵eka.karyawati@unud.ac.id

⁶madewidiartha@unud.ac.id

Abstract

The Balinese lontar manuscripts are a valuable ancestral cultural heritage of the Balinese people because they contain ancient knowledge and historical records. Along with the development of ejection age, the material from ejection manuscripts is very vulnerable to damage. This damage can result in loss of information on the ejection, but this can be minimized by digitizing it. At this time if there are many types of lontar manuscripts that are digitized, it will be difficult to find proof of ownership. So, the authors conducted research on creating a copyright protection system for Balinese lontar manuscripts by inserting proof of ownership. The method used for insertion is the LSB method with ChaCha20 as additional security and random key generation. The research was successfully carried out based on the results of testing the computational process on the imperceptibility criterion that there was no difference between the stego image and the original image, then on fidelity got the MSE value of 0.00143 and PSNR 76.56 dB, the results of the recovery criteria stated that the inserted embedded image could be extracted with an average the average time is 20.629 seconds, and on the robustness criterion, the results with the embedded image cannot be extracted because it is not resistant to the processing of the stego image. Another measure of success based on software testing using black box testing is to find that the functional application works well and there are no problematic features and the UAT results get very good ratings from respondents with an average weighting value of 89.2%.

Keywords: LSB, ChaCha20, Android, Copyright Protection, Lontar Bali

1. Pendahuluan

Manuskrip lontar Bali merupakan naskah kuno warisan budaya leluhur masyarakat Bali yang berharga dan penting karena pada manuskrip terdapat ilmu pengetahuan dan catatan sejarah zaman dahulu. Manuskrip lontar Bali merupakan sarana menulis pada zaman dahulu dengan menggunakan daun pohon lontar sebelum adanya kertas. Pada saat ini manuskrip yang ditulis menggunakan daun lontar masih menjadi bagian aktif dari budaya literasi masyarakat Bali modern.

Seiring dengan perkembangan usia lontar, material dari manuskrip lontar sangat rentan terhadap kerusakan seperti pelapukan. Adanya kerusakan dapat berdampak hilangnya informasi yang terdapat pada manuskrip lontar. Maka dari itu perlunya tindakan pelestarian seperti digitalisasi. Digitalisasi memiliki manfaat untuk menjaga keamanan informasi dan memberikan akses pengetahuan yang terdapat pada manuskrip lontar kepada masyarakat umum.

Sementara itu, kebutuhan keamanan dan kerahasiaan data atau informasi pada saat ini semakin meningkat, terlebih jika banyak jenis manuskrip lontar yang didigitalisasikan. Akan sulit menemukan

kepemilikan jika terdapat banyak jenis manuskrip lontar yang didigitalisasikan sehingga apresiasi untuk pemilik lontar akan hilang. Maka dari itu perlu dilakukan cara untuk melindungi kepemilikan hak cipta atas manuskrip lontar digital dengan cara menyisipkan identitas kepemilikan ke dalam manuskrip lontar Bali. Salah satu metode yang digunakan untuk melakukan penyisipan informasi pada suatu media digital adalah steganografi.

Steganografi adalah proses penyisipan informasi rahasia atau pribadi di dalam suatu media digital dengan cara tidak terdeteksi dan tidak tampak secara langsung sehingga tidak mengganggu tampilan dari media penampung. Objek penyisipan (*embedded object*) dan media penyisipan (*cover object*) yang digunakan memiliki tipe data bervariasi seperti teks, gambar, audio, dan video [1]. Salah satu metode steganografi yang digunakan untuk penyisipan informasi rahasia adalah metode *Least Significant Bit* (LSB).

Metode LSB memiliki kelebihan dari cara mengamankan *embedded object* yaitu perubahan yang dihasilkan pada *cover object* sangat kecil, sehingga sulit untuk diketahui oleh manusia. Dikarenakan penyisipan yang dilakukan oleh LSB disisipkan pada bit terakhir dari nilai biner RGB (*red, green, dan blue*) *cover object* [2]. Dilihat berdasarkan dari metode keamanan data yang terbaru seperti *blockchain*, LSB memiliki keunggulan dari segi biaya dan kecepatan dikarenakan pada hal tersebut *blockchain* membutuhkan biaya yang mahal dari perancangan sampai perawatan dan kecepatan yang diberikan memerlukan waktu yang lama untuk prosesnya. Sedangkan LSB memberikan biaya yang murah dikarenakan implementasi yang tidak terlalu rumit dan waktu proses yang relatif singkat. Dari segi autentikasi keaslian datanya, *blockchain* dan LSB sama-sama dapat dibuktikan keaslian datanya [3].

Pada implementasi pengembangan metode LSB, menurut Hernandez et al. (2019) mengatakan bahwa metode LSB yang digunakan dikombinasikan dengan *Pseudorandom Number Generator* (PRNG) untuk membangkitkan bilangan acak dari posisi piksel yang disisipkan pesan rahasia dapat menghasilkan nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) mencapai 51 dB. Pada penelitian dengan *cover* dan *embedded object* berupa gambar, Das et al. (2018) mengatakan bahwa kombinasi LSB dan PRNG dapat menghasilkan nilai PSNR sebesar 68 dB. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut dapat dikatakan cukup baik, akan tetapi dapat dikembangkan lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Berdasarkan permasalahan yang ada dan penelitian yang sudah dilakukan, penulis ingin membangun sistem untuk melestarikan serta menjaga kepemilikan dari manuskrip lontar Bali dengan cara menyisipkan bukti kepemilikan dengan tanda tangan digital menggunakan *Quick Response* (QR) *code*. Tanda-tangan digital QR *code* dipilih dikarenakan umum digunakan untuk mengidentifikasi keaslian dari tanda tangan atau bukti kepemilikan. Untuk metode yang digunakan untuk penyisipan dan ekstraksi adalah menggunakan metode LSB dan ChaCha20. Metode ChaCha20 digunakan sebagai *Cryptographically Secure Pseudorandom Number Generator* (CSPRNG) atau keamanan ketika proses penyisipan dan ekstraksi serta memetakan persebaran piksel penyisipan dan ekstraksi secara acak.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan menggunakan metode pengembangan perangkat lunak *Rapid Application Development* (RAD). Metode RAD yang digunakan memiliki beberapa tahapan, yaitu analisis kebutuhan sistem, pemodelan sistem, implementasi sistem, dan pengujian sistem.

2.1. Analisis Kebutuhan Sistem

2.1.1. Analisis Kebutuhan Data Penelitian

Pada analisis kebutuhan data penelitian, data manuskrip lontar Bali yang digunakan sebagai *cover image* sedangkan data tanda tangan digital QR *code* digunakan sebagai *embedded image*.

a. Sumber Data

Sumber data manuskrip lontar Bali berasal dari Palm Leaf Wiki yang menyediakan arsip digital berbasis website dengan koleksi digital mengenai manuskrip lontar, salah satunya adalah koleksi digital manuskrip lontar Bali. Sedangkan untuk sumber data tanda tangan digital QR *code* berasal dari aplikasi generator QR *code*.

b. Jenis Data

Jenis data yang digunakan pada manuskrip lontar Bali dan tanda tangan digital QR *code* merupakan citra digital dengan ekstensi *portable network graphics* atau *.png.

c. Jumlah Data

Jumlah data manuskrip lontar Bali yang digunakan berjumlah sepuluh. Sedangkan untuk jumlah data tanda tangan digital QR code berjumlah dua.

2.1.2. Analisis Kebutuhan Fungsional

Analisis kebutuhan fungsional meliputi apa saja fitur-fitur yang harus ada dan merepresentasikan jalannya suatu sistem. Berikut adalah analisis kebutuhan fungsional dari sistem yang dibangun pada penelitian ini:

- a. Sistem harus dapat mengirimkan data *input* pengguna ke server.
- b. Server harus dapat mengolah masukan data pengguna dan mengembalikan nilai hasil proses komputasi.
- c. Sistem harus dapat menangkap dan menampilkan hasil nilai *return* dari server.

2.1.3. Analisis Kebutuhan Non Fungsional

Analisis kebutuhan non fungsional berperan untuk membantu fungsionalitas dari sistem. Berikut merupakan analisis kebutuhan non fungsional untuk aplikasi yang dibangun pada penelitian ini:

a. Kegunaan (*usability*)

Agar dapat mudah dipahami oleh pengguna, aplikasi harus dilengkapi dengan yang sederhana, ikon yang mudah dipahami, serta ukuran teks dan tombol yang dapat dibaca dengan baik.

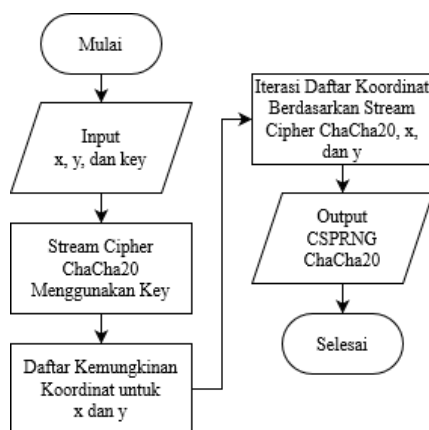
b. Portabilitas (*portability*)

Agar sistem dapat berjalan dengan baik pada lintas versi android *device*, maka sistem yang dibangun harus memerhatikan spesifikasi minimal dari *device* yang dipakai oleh pengguna.

2.2. Pemodelan Sistem

2.2.1. Rancangan Komputasi Aplikasi

a. Proses Pembangkitan Kunci

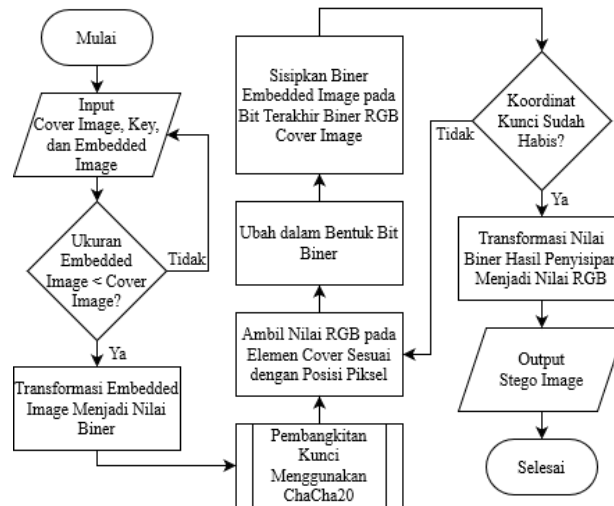


Gambar 1. Flowchart Proses Pembangkitan Kunci

Proses pembangkitan kunci menggunakan metode ChaCha20. Metode ChaCha20 digunakan sebagai *Cryptographically Secure Pseudorandom Number Generator* (CSPRNG) untuk pembangkitan kunci secara acak serta menentukan koordinat penyisipan *embedded image* secara acak pada *cover image* dan mendapatkan atau menentukan lokasi acak penyisipan pada *stego image* untuk mengekstrak *embedded image*. Proses *flowchart* proses pembangkitan kunci terdapat pada gambar 1.

b. Proses Penyisipan

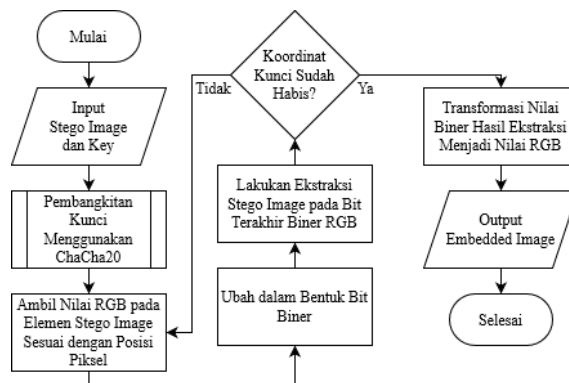
Proses penyisipan akan menggunakan metode LSB. Metode LSB berfungsi sebagai metode utama untuk melakukan penyisipan *embedded image* pada *cover image*. *Flowchart* proses penyisipan terdapat gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Proses Komputasi Penyisipan

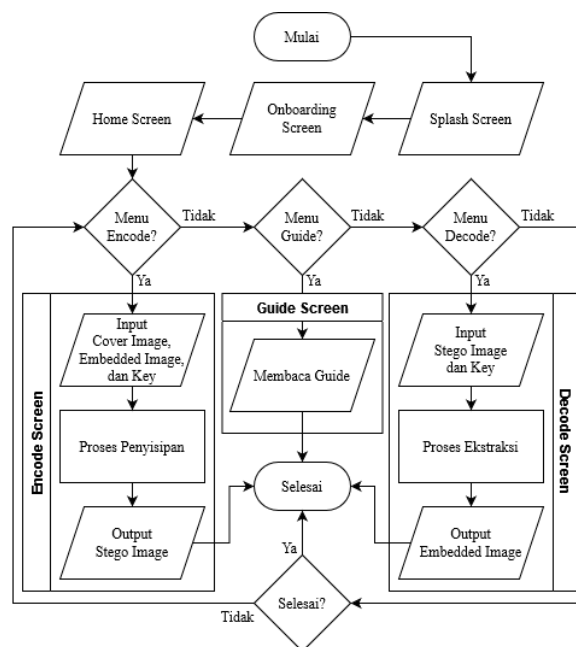
c. Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi akan menggunakan metode LSB. Metode LSB berfungsi sebagai metode utama untuk melakukan ekstraksi *embedded image*. Flowchart proses ekstraksi terdapat pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Proses Komputasi Ekstraksi

2.2.2. Rancangan Alur Aplikasi



Gambar 4. Flowchart Rancangan Alur Aplikasi

Rancangan alur aplikasi digunakan sebagai gambaran jalannya aplikasi dari satu fitur ke fitur lainnya. Untuk *flowchart* rancangan alur aplikasi terdapat pada gambar 4.

2.3. Rancangan Implementasi Sistem

Implementasi hasil rancangan komputasi ke dalam bentuk program menggunakan bahasa pemrograman python sebagai *backend* dan menggunakan *framework* flask pada python untuk API. Untuk rancangan implementasi perangkat lunak menggunakan bahasa pemrograman dart dengan *framework* flutter sebagai *frontend*.

2.4. Rancangan Pengujian Sistem

2.4.1. Rancangan Pengujian Komputasi

Pengujian komputasi dilakukan bertujuan untuk mengukur performa yang dimiliki oleh sistem. Pengujian komputasi dibagi berdasarkan kriteria dari steganografi, yaitu *imperceptibility*, *fidelity*, *recovery*, dan *robustness*.

a. Imperceptibility

Pengujian *imperceptibility* adalah pengujian untuk menguji kualitas *stego image* apakah *stego image* mengalami perubahan yang mencurigakan atau tidak berdasarkan pandangan mata manusia secara langsung dengan perbandingan antara gambar asli *stego image* sebelum dilakukan penyisipan atau *original image*. Pengujian ini dikatakan berhasil apabila *stego image* yang dihasilkan tidak mengalami distorsi dibandingkan dengan *original image* berdasarkan pengamatan secara langsung.

b. Fidelity

Pengujian *fidelity* adalah pengujian untuk mengetahui kualitas *stego image* setelah ditambahkan *embedded image*. Untuk mengetahui nilai kualitas tersebut, pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan perhitungan nilai *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR).

c. Recovery

Pengujian *recovery* merupakan pengujian untuk mengetahui keberhasilan dari *embedded image* yang telah disisipkan dalam *stego image* untuk dapat diekstrak kembali atau tidak. Untuk dapat diekstraksi, maka syaratnya adalah *key* atau kunci yang digunakan harus sesuai dengan kunci yang digunakan saat proses penyisipan gambar. Ukuran keberhasilan dari pengujian *recovery* akan diacu berdasarkan keberhasilan ekstraksi pesan dan kecepatan waktu ekstraksi.

d. Robustness

Pengujian *robustness* merupakan pengujian untuk membuktikan bahwa *embedded image* tahan terhadap berbagai operasi manipulasi atau *editing* yang dilakukan pada *stego image* dan untuk mengetahui pesan yang disembunyikan apakah berhasil diekstrak atau tidak. Adapun operasi manipulasi atau *editing* yang digunakan adalah pemotongan (*cropping*), mengubah resolusi (*resizing*), rotasi (*rotation*), *gaussian blur*, dan *grayscale*.

2.4.2. Rancangan Pengujian Perangkat Lunak

a. Black Box Testing

Pengujian *black box* dilakukan untuk menguji setiap fungsi pada aplikasi berjalan sesuai dengan rancangan atau tidak. Pengujian dilakukan dengan mendefinisikan kumpulan kondisi *input* dan *output* serta mendemonstrasikan spesifikasi fungsional pada aplikasi. Pengujian akan menghasilkan validasi dari *input* dan *output* aplikasi sesuai dengan rancangan.

b. User Acceptance Testing (UAT)

Pengujian aplikasi dengan UAT dilakukan berdasarkan tiga aspek, yaitu aspek aplikasi, pengguna, dan interaksi. Masing-masing dari aspek tersebut akan berisikan pertanyaan-pertanyaan yang nantinya akan diberikan kepada responden atau pengguna (*user*) untuk dinilai berdasarkan aplikasi. Hasil jawaban responden akan dihitung menggunakan skala pembobotan untuk mendapatkan hasil nilai pembobotan berdasarkan tabel 1.

Tabel 1. Skala Pembobotan UAT

Pernyataan	Nilai	Bobot
Sangat Setuju	A	5
Setuju	B	4

Netral	C	3
Tidak Setuju	D	2
Sangat Tidak Setuju	E	1

Berikut merupakan pertanyaan-pertanyaan berdasarkan aspek yang akan diberikan kepada responden:

- Aspek Aplikasi
 - 1) Apakah tampilan aplikasi menarik?
 - 2) Apakah tampilan warna dan *interface* pada aplikasi enak dilihat dan tidak membosankan?
 - 3) Apakah tampilan tata aplikasi jelas dan mudah dipahami?
- Aspek Pengguna
 - 4) Apakah aplikasi mempunyai menu-menu yang mudah dipahami?
 - 5) Apakah aplikasi mudah dioperasikan?
 - 6) Apakah aplikasi ini dapat digunakan untuk melakukan penyisipan dan ekstraksi?
- Aspek Interaksi
 - 7) Apakah hasil dari penyisipan dapat terlihat?
 - 8) Apakah hasil dari ekstraksi dapat terlihat?
 - 9) Apakah fitur guide atau panduan penggunaan mudah dipahami?

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Penelitian

a. Cover Image

Data gambar manuskrip lontar Bali yang digunakan sebagai *cover image* berjumlah sepuluh dengan memiliki kepemilikan pada masing-masing manuskrip lontar Bali. Gambar manuskrip lontar Bali yang dimiliki oleh Gedong Kirtya Singaraja berjudul Awig-awig Desa Silangjana, Carcan Kucing, Gaguritan Nengah Jimbaran, dan Atlas Bhumi (Kakawin). Sedangkan gambar manuskrip lontar Bali yang dimiliki oleh Pusat Dokumentasi Dinas Kebudayaan Provinsi Bali berjudul Babad Gumi, Geguritan Rusak Banjar, Gaguritan Cangak, Keputusan Sri Aji Malayu, Kidung Rajapala, dan Usada Buda Kecapi.

b. Embedded Image

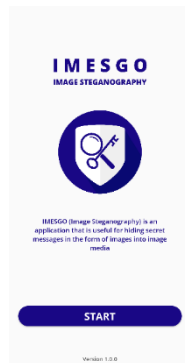
Data gambar tanda tangan digital QR *code* yang digunakan sebagai *embedded image* berjumlah dua dengan kepemilikan data gambar manuskrip lontar Bali, yaitu Gedong Kirtya Singaraja dan Pusat Dokumentasi Dinas Kebudayaan Provinsi Bali.

3.2. Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan tahapan untuk merealisasikan analisis dan rancangan yang telah dibuat. Implementasi yang dilakukan menggunakan *frontend* dengan *framework* flutter pada bahasa pemrograman dart dan *backend* menggunakan python. Untuk menghubungkan antara *frontend* dan *backend* menggunakan flask sebagai API. Hasil dari implementasi sistem terdapat pada gambar 5, gambar 6, gambar 7, gambar 8, gambar 9, gambar 10, gambar 11, dan gambar 12.



Gambar 5. Splash Screen



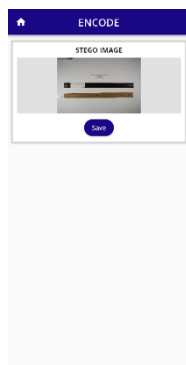
Gambar 6. Onboarding Screen



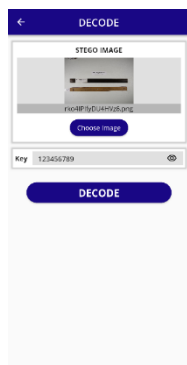
Gambar 7. Home Screen



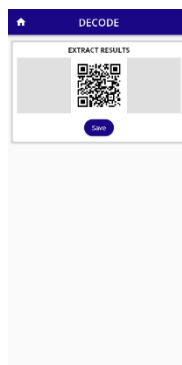
Gambar 8. Encode Screen



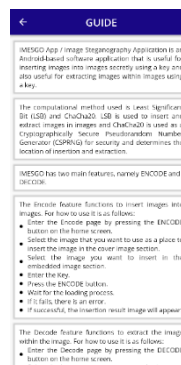
Gambar 9. Encode Result Screen



Gambar 10. Decode Screen



Gambar 11. Decode Result Screen



Gambar 12. Guide Screen

3.3. Pengujian Sistem

3.3.1. Pengujian Komputasi

a. Imperceptibility

Pengujian *imperceptibility* menggunakan kuesioner untuk dibagikan kepada responden dan membandingkan perbedaan antara gambar *original* dan gambar *stego*. Hasil jawaban kuesioner telah diisi sebanyak 20 orang responden dan jawaban kuesioner dirangkum pada tabel 2.

Tabel 2. Jawaban Kuesioner Pengujian *Imperceptibility*

No	Judul Manuskrip Lontar Bali	Jawaban		Persentase	
		Berbeda	Tidak Berbeda	Berbeda	Tidak Berbeda
1	Awig-awig Desa Silangjana	2	18	10	90
2	Babad Gumi	3	17	15	85
3	Carcan Kucing	1	19	5	95
4	Gaguritan Nengah Jimbaran	1	19	5	95
5	Geguritan Rusak Banjar	3	17	15	85
6	Gaguritan Cangak	3	17	15	85
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	1	19	5	95
8	Keputusan Sri Aji Malayu	1	19	5	95
9	Kidung Rajapala	1	19	5	95
10	Usada Buda Kecapi	2	18	10	90

Berdasarkan tabel 3, responden memilih jawaban tidak berbeda dengan rata-rata 91% dan jawaban berbeda dengan rata-rata 9%. Dapat dikatakan hasil yang diberikan sangat baik dikarenakan responden menjawab bahwa pada perbandingan perbedaan antara gambar *original* dan gambar *stego* tidak memiliki perbedaan yang cukup terlihat atau tidak memiliki distorsi pada gambar *stego*.

b. Fidelity

Hasil dari pengujian *fidelity* pada tabel 3 memiliki nilai rata-rata MSE sebesar 0,00143 dan nilai rata-rata PSNR sebesar 76,56 dB. Hasil tersebut dapat dikatakan baik dan memiliki tingkat kemiripan yang tinggi dikarenakan pada nilai MSE nilainya mendekati nol dan pada nilai PSNR nilainya lebih dari 30 dB.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Fidelity*

No	Judul Manuskrip Lontar Bali	Key	MSE	PSNR
1	Awig-awig Desa Silangjana	4o7AzH1Tzg	0,00136	76,79 dB
2	Babad Gumi	hROpPBpHOP	0,00150	76,36 dB
3	Carcan Kucing	dKyjgvoYIR	0,00135	76,81 dB
4	Gaguritan Nengah Jimbaran	MzlfYT09xA	0,00134	76,83 dB
5	Geguritan Rusak Banjar	Q5f0RdDSsd	0,00149	76,39 dB
6	Gaguritan Cangak	V5iUqNDPR6	0,00146	76,46 dB
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	F2GZ9rblwR	0,00136	76,79 dB
8	Keputusan Sri Aji Malayu	ZKGP2XVdDC	0,00150	76,36 dB
9	Kidung Rajapala	vkajpnThy6	0,00148	76,40 dB
10	Usada Buda Kecapi	tmD1ILML2l	0,00149	76,38 dB

c. *Recovery*

Pada pengujian *recovery*, *stego image* berhasil diekstrak dengan kunci yang sama dengan ketika proses penyisipan dan mendapatkan *embedded image* dengan rata-rata waktu proses ekstraksi 20,629 detik. Hasil dari pengujian *recovery* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Recovery*

No	Judul Manuskrip Lontar Bali	Key	Waktu Ekstraksi (detik)	Hasil Ekstraksi
1	Awig-awig Desa Silangjana	4o7AZh1Tzg	19,93	Berhasil
2	Babad Gumi	hROpPBpHOP	20,42	Berhasil
3	Carcan Kucing	dKyjgvoYIR	19,87	Berhasil
4	Geguritan Nengah Jimbaran	Q5f0RdDSsd	20,98	Berhasil
5	Geguritan Rusak Banjar	MzlfYTo9xA	22,05	Berhasil
6	Geguritan Cangak	V5iUqNDPR6	21,24	Berhasil
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	F2GZ9rblwR	18,99	Berhasil
8	Keputusan Sri Aji Malayu	ZKGP2XVdDC	21,16	Berhasil
9	Kidung Rajapala	vkajpnThy6	21,35	Berhasil
10	Usada Buda Kecapi	tmD1ILML2l	20,30	Berhasil

d. *Robustness*

Pengujian *robustness* dilakukan manipulasi atau *editing* pada *stego image* untuk mengetahui ketahanan dan keberhasilan dari *embedded image* ketika diekstrak. Kunci yang digunakan atau yang terdapat pada *stego image* adalah acak dengan panjang satu sampai sepuluh karakter berdasarkan masing-masing *stego image*. Untuk parameter manipulasi atau *editing* menyesuaikan dengan kemungkinan yang terjadi pada proses manipulasi atau *editing*. Untuk hasil pengujian pemotongan (*cropping*) terdapat pada tabel 5, pengujian mengubah resolusi (*resizing*) terdapat pada tabel 6, pengujian rotasi (*rotation*) terdapat pada tabel 7, pengujian *gaussian blur* terdapat pada tabel 8, dan pengujian *grayscale* terdapat pada tabel 9.

Tabel 5. Hasil Pengujian Pemotongan (*cropping*)

No	Stego Image	Key	Ukuran Pemotongan	Lokasi Pemotongan	Hasil Ekstraksi
1	Awig-awig Desa Silangjana	dh	50%	Pojok Kiri Atas	Gagal
2	Babad Gumi	HM1ps	50%	Pojok Kanan Atas	Gagal
3	Carcan Kucing	nBf9wS	50%	Tengah	Gagal
4	Geguritan Nengah Jimbaran	NUL8KFJ40	50%	Pojok Kiri Bawah	Gagal
5	Geguritan Rusak Banjar	o	50%	Pojok Kanan Bawah	Gagal
6	Geguritan Cangak	OUIEKT6d	75%	Pojok Kiri Atas	Gagal
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	P19z	75%	Pojok Kanan Atas	Gagal
8	Keputusan Sri Aji Malayu	qpybsnvayf	75%	Tengah	Gagal
9	Kidung Rajapala	qSzQUU6	75%	Pojok Kiri Bawah	Gagal
10	Usada Buda Kecapi	uvO	75%	Pojok Kanan Bawah	Gagal

Tabel 6. Hasil Pengujian Mengubah Resolusi (*resizing*)

No	Stego Image	Key	Resolusi		Perubahan Ukuran	Hasil Ekstraksi
			Sebelum	Sesudah		
1	Awig-awig Desa Silangjana	b	2808 x 1872	5616 x 3744	+ 100%	Gagal
2	Babad Gumi	tkyBM1	2808 x 1872	4914 x 3276	+ 75%	Gagal
3	Carcan Kucing	C	2808 x 1872	4212 x 2808	+ 50%	Gagal
4	Geguritan Nengah Jimbaran	lYaO	2808 x 1872	3510 x 2340	+ 25%	Gagal
5	Geguritan Rusak Banjar	o5	2808 x 1872	2948 x 1965	+ 5%	Gagal
6	Geguritan Cangak	wTq	2808 x 1872	2668 x 1779	- 5%	Gagal
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	9AfoRyFzK	2808 x 1872	2106 x 1404	- 25%	Gagal
8	Keputusan Sri Aji Malayu	1x9gNn1	2808 x 1872	1404 x 936	- 50%	Gagal
9	Kidung Rajapala	akeXCcJb	2808 x 1872	702 x 468	- 75%	Gagal
10	Usada Buda Kecapi	O6dn6	2808 x 1872	141 x 94	- 95%	Gagal

Tabel 7. Hasil Pengujian Rotasi (*rotation*)

No	Stego Image	Key	Perubahan Rotasi	Hasil Ekstraksi
1	Awig-awig Desa Silangjana	pLNU06NAi9	-150°	Gagal
2	Babad Gumi	V	-120°	Gagal

3	Carcan Kucing	vIvEmQq	-90°	Gagal
4	Gaguritan Nengah Jimbaran	kA	-60°	Gagal
5	Geguritan Rusak Banjar	mRTJ4v	-30°	Gagal
6	Gaguritan Cangak	SmueBe0ba	30°	Gagal
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	6xB	60°	Gagal
8	Keputusan Sri Aji Malayu	guYP	90°	Gagal
9	Kidung Rajapala	Y77dS	120°	Gagal
10	Usada Buda Kecapi	v0HmQDfU	150°	Gagal

Tabel 8. Hasil Pengujian *Gaussian Blur*

No	<i>Stego Image</i>	Key	Radius (piksel)	Hasil Ekstraksi
1	Awig-awig Desa Silangjana	GRE	1,0	Gagal
2	Babad Gumi	nRDEZ	2,0	Gagal
3	Carcan Kucing	s7se8vnRuV	3,0	Gagal
4	Gaguritan Nengah Jimbaran	N71tQqV	4,0	Gagal
5	Geguritan Rusak Banjar	M	5,0	Gagal
6	Gaguritan Cangak	FA	6,0	Gagal
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	0Xgmd0J	7,0	Gagal
8	Keputusan Sri Aji Malayu	3yZx	8,0	Gagal
9	Kidung Rajapala	qwUGHEys	9,0	Gagal
10	Usada Buda Kecapi	yWK1PW0AA	10,0	Gagal

Tabel 9. Hasil Pengujian *Grayscale*

No	<i>Stego Image</i>	Key	Hasil Ekstraksi
1	Awig-awig Desa Silangjana	JAI2WAN2e	Gagal
2	Babad Gumi	yW7Fe0h	Gagal
3	Carcan Kucing	v13bSFYJ	Gagal
4	Gaguritan Nengah Jimbaran	i	Gagal
5	Geguritan Rusak Banjar	OkOqhhr3JA	Gagal
6	Gaguritan Cangak	3hbz	Gagal
7	Atlas Bhumi (Kakawin)	wZ	Gagal
8	Keputusan Sri Aji Malayu	4CNBU	Gagal
9	Kidung Rajapala	3RXAvV	Gagal
10	Usada Buda Kecapi	7fQ	Gagal

3.3.2. Pengujian Perangkat Lunak

a. *Black Box Testing*

Pengujian *black box* dilakukan untuk memastikan apakah masukan serta keluaran pada aplikasi telah berjalan sesuai dengan rancangan. Hasil dari pengujian *black box* terdapat pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil Pengujian *Black Box*

No	Pengujian	Hasil
1	Memencet tombol <i>start</i> pada <i>onboarding screen</i> untuk menampilkan <i>home screen</i>	Valid
2	Memencet tombol <i>encode</i> pada <i>home screen</i> untuk menampilkan <i>encode screen</i>	Valid
3	Memencet tombol <i>decode</i> pada <i>home screen</i> untuk menampilkan <i>decode screen</i>	Valid
4	Memencet tombol <i>guide</i> pada <i>home screen</i> untuk menampilkan <i>guide screen</i>	Valid
5	Memasukkan <i>cover image</i> dan <i>embedded image</i> lalu menampilkan gambar dan namanya pada <i>encode screen</i>	Valid
6	Memasukkan <i>key</i> di dalam <i>text field</i> pada <i>encode screen</i>	Valid
7	Memencet tombol <i>encode</i> pada <i>encode screen</i> untuk melakukan proses <i>encode</i>	Valid
8	Melakukan proses <i>encode</i>	Valid
9	Menampilkan <i>stego image</i> atau hasil proses <i>encode</i>	Valid
10	Memasukkan <i>stego image</i> lalu menampilkan gambar dan namanya pada <i>decode screen</i>	Valid
11	Memasukkan <i>key</i> di dalam <i>text field</i> pada <i>decode screen</i>	Valid
12	Memencet tombol <i>decode</i> pada <i>decode screen</i> untuk melakukan proses <i>decode</i>	Valid
13	Melakukan proses <i>decode</i>	Valid
14	Menampilkan hasil ekstrak atau hasil proses <i>decode</i>	Valid

b. *User Acceptance Testing* (UAT)

Hasil dari pengujian UAT didapatkan 20 orang responden. Kuesioner yang telah diisi oleh responden diolah berdasarkan bobotnya pada tabel 1. Didapatkan hasil nilai pembobotan seperti pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Nilai Pembobotan Pengujian UAT

No	Pertanyaan		Bobot					Jumlah Bobot	Nilai (%)
	Aspek	Soal	A	B	C	D	E		
1	Aspek Aplikasi	Apakah tampilan aplikasi menarik?	35	44	3	2	0	84	84
2		Apakah tampilan warna dan <i>interface</i> pada aplikasi enak dilihat dan tidak membosankan?	45	28	9	2	0	84	84
3		Apakah tampilan tata aplikasi jelas dan mudah dipahami?	70	24	0	0	0	94	94
4	Aspek Pengguna	Apakah aplikasi mempunyai menu-menu yang mudah dipahami?	65	28	0	0	0	93	93
5		Apakah aplikasi mudah dioperasikan?	70	24	0	0	0	94	94
6		Apakah aplikasi ini dapat digunakan untuk melakukan penyisipan dan ekstraksi?	50	24	12	0	0	86	86
7	Aspek Interaksi	Apakah hasil dari penyisipan dapat terlihat?	50	24	9	2	0	85	85
8		Apakah hasil dari ekstraksi dapat terlihat?	55	24	9	0	0	88	88
9		Apakah fitur <i>guide</i> atau panduan penggunaan mudah dipahami?	45	32	6	2	0	85	85

Berdasarkan tabel 12 didapatkan hasil nilai pembobotan dengan rata-rata pada aspek aplikasi mendapatkan nilai 87,3%, aspek pengguna mendapatkan nilai 94,3%, dan aspek interaksi mendapatkan nilai 86%. Jadi dapat diketahui bahwa ketiga aspek tersebut telah memenuhi kebutuhan dari pengguna (*user*).

4. Kesimpulan

Penelitian berhasil dilakukan berdasarkan hasil pengujian proses komputasi pada kriteria *imperceptibility* dengan tidak adanya perbedaan antara *stego image* dan *original image*, lalu pada *fidelity* mendapatkan nilai MSE 0,00143 dan PSNR 76,56 dB, hasil kriteria *recovery* menyatakan *embedded image* yang disisipkan dapat diekstrak dengan rata-rata waktu 20,629 detik, dan pada kriteria *robustness* mendapatkan hasil dengan *embedded image* tidak dapat diekstrak karena tidak tahan terhadap proses manipulasi pada *stego image*. Ukuran keberhasilan lainnya berdasarkan pengujian perangkat lunak menggunakan *black box testing* mendapatkan bahwa fungsional aplikasi bekerja dengan baik serta tidak ada fitur yang bermasalah dan pada hasil UAT mendapatkan penilaian sangat baik dari responden dengan rata-rata hasil nilai pembobotan sebesar 89,2%.

Referensi

- [1] I. J. Kadhim, P. Premaratne, P. J. Vial, and B. Halloran, "Comprehensive survey of image steganography: Techniques, Evaluations, and trends in future research," *Neurocomputing*, vol. 335, pp. 299–326, 2019.
- [2] Alvin, A. Wicaksana, and M. I. Prasetyowati, "Digital Watermarking for Color Image Using DHWT and LSB," in *2019 5th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)*, 2019, pp. 94–99. doi: 10.1109/CONMEDIA46929.2019.8981835.
- [3] B. S. Riza, "Blockchain Dalam Pendidikan: Lapisan Logis di Bawahnya," *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 1, no. 1 Juni, pp. 41–47, 2020.
- [4] A. Hernandez, H. Hartini, and D. Sartika, "Steganografi Citra Menggunakan Metode Least Significant Bit (LSB) Dan Linear Congruential Generator (LCG)," *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 5, no. 2, pp. 137–146, 2019.
- [5] K. Das, D. Choudhury, and S. K. Bandyopadhyay, "An Ameliorate Image Steganography Method using LSB Technique & Pseudo Random Numbers," *Journal for Research| Volume*, vol. 4, no. 09, 2018.