

## KOMPRESI CITRA DIGITAL ORNAMEN UKIRAN BALI MENGGUNAKAN METODE RLE

I Putu Eka Indrawan<sup>1</sup>, Luh Putu Risma Noviana<sup>2</sup>, Ayu Aprilyana Kusuma Dewi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universitas PGRI Mahadewa Indonesia, Denpasar, Indonesia; [putueka@mahadewa.ac.id](mailto:putueka@mahadewa.ac.id)

<sup>2</sup> Universitas PGRI Mahadewa Indonesia, Denpasar, Indonesia; [risma@mahadewa.ac.id](mailto:risma@mahadewa.ac.id)

<sup>3</sup> Universitas PGRI Mahadewa Indonesia, Denpasar, Indonesia; [ayuapriyana@mahadewa.ac.id](mailto:ayuapriyana@mahadewa.ac.id)

Corresponding author; [putueka@mahadewa.ac.id](mailto:putueka@mahadewa.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received February 13, 2026

Revised April 20, 2026

Accepted April 28, 2026

Available online April 30, 2026

**Keywords:** *Digital Image Compression, Run Length Encoding, Balinese Carved Ornament, Lossless Compression, Cultural Heritage Digitization*

*Copyright ©2026 Published by  
Fakultas Teknik dan Informatika  
Universitas PGRI Mahadewa Indonesia*

**Abstract.** This study investigates the implementation of Run Length Encoding (RLE) for compressing digital images of Balinese carved ornaments as a representation of local cultural heritage. The increasing need for high-resolution digital documentation of cultural artifacts leads to larger file sizes and higher storage and transmission demands. This research adopts an experimental quantitative approach to evaluate compression performance based on compression ratio, file size reduction, and processing time. The results demonstrate that RLE produces compression ratios ranging from 17.04% to 79.08%, depending on the visual complexity and repetitive structure of the ornament patterns. Images with dominant homogeneous areas and repetitive motifs achieved higher compression efficiency, while highly detailed and complex textures resulted in lower ratios. All decompressed images were identical to the original files, confirming that RLE operates as a lossless compression method and preserves visual integrity. The findings highlight the strong relationship between visual structure and algorithmic efficiency, contributing to the integration of information technology in the digital preservation of Balinese cultural artifacts.

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mengubah cara manusia menyimpan, mengelola, dan mendistribusikan informasi visual dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan, industri kreatif, hingga pelestarian budaya. Digitalisasi citra memungkinkan representasi objek secara lebih detail dan sistematis, sehingga arsip visual dapat diakses lintas ruang dan waktu tanpa batasan geografis. Peningkatan resolusi dan kualitas citra menjadi kebutuhan utama untuk menjaga ketajaman detail, terutama pada objek yang memiliki struktur visual kompleks. Namun, konsekuensi logis dari resolusi tinggi adalah bertambahnya ukuran berkas yang berdampak pada kebutuhan kapasitas penyimpanan dan efisiensi transmisi data. Permasalahan ini menjadi semakin krusial ketika objek yang didigitalisasi memiliki pola repetitif dan detail rumit, seperti ornamen ukiran Bali yang kaya motif geometris, lengkung dekoratif, dan susunan simetris khas arsitektur tradisional (Zafar & Avanaki, 2025). Ornamen tersebut bukan sekadar elemen estetika, melainkan representasi nilai filosofis dan identitas

kultural masyarakat Bali yang harus dipertahankan secara autentik dalam bentuk digital. Proses digitalisasi yang tidak efisien berpotensi menimbulkan pemborosan sumber daya komputasi dan memperlambat distribusi data visual. Oleh sebab itu, diperlukan strategi pengolahan citra yang mampu meminimalkan redundansi data tanpa mengurangi integritas visual. Pendekatan kompresi citra digital menjadi solusi rasional untuk menjawab kebutuhan tersebut, khususnya melalui metode yang mampu mempertahankan kualitas citra asli secara utuh sekaligus meningkatkan efisiensi penyimpanan dan distribusi (Embuldeniya & Meegama, 2025; Idrais et al., 2021).

Dalam ranah pengolahan citra digital, kompresi merupakan tahapan fundamental yang berfungsi untuk mengurangi redundansi representasi data tanpa mengorbankan informasi esensial yang terkandung di dalam citra. Setiap citra digital tersusun atas matriks piksel yang sering kali memiliki kemiripan nilai intensitas pada area tertentu, sehingga penyimpanan langsung setiap piksel secara individual menimbulkan pemborosan ruang. Strategi kompresi dirancang untuk merepresentasikan pola tersebut dalam bentuk yang lebih ringkas melalui proses pengkodean. Secara konseptual, kompresi dibedakan menjadi dua pendekatan utama, yaitu lossy dan lossless, dengan perbedaan terletak pada keberadaan distorsi hasil rekonstruksi (Kolekar et al., 2022). Pada konteks pelestarian visual dan dokumentasi artefak budaya, pendekatan lossless menjadi krusial karena menjamin citra hasil dekompresi identik dengan citra asli. Salah satu algoritma lossless yang paling mendasar adalah Run Length Encoding (RLE), yang bekerja dengan mengidentifikasi kemunculan piksel berurutan dengan intensitas sama, lalu merepresentasikannya sebagai pasangan nilai dan panjang deret. Mekanisme ini relatif sederhana secara komputasional, tidak memerlukan transformasi frekuensi maupun proses kuantisasi seperti pada metode berbasis Discrete Cosine Transform (DCT) dalam JPEG. RLE menitikberatkan pada efisiensi representasi deret piksel, sehingga sangat efektif pada citra dengan struktur pola repetitif dan area homogen. Dengan karakteristik tersebut, metode RLE relevan untuk diaplikasikan pada citra yang memiliki kecenderungan pola berulang secara spasial (Shi, 2026).

Sejumlah penelitian dalam bidang kompresi citra digital telah mengkaji performa berbagai algoritma lossless pada beragam karakteristik citra. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa efektivitas metode kompresi tidak hanya ditentukan oleh kompleksitas algoritma, tetapi sangat dipengaruhi oleh struktur spasial dan distribusi intensitas piksel pada citra yang diuji. Run Length Encoding (RLE), sebagai algoritma berbasis deret piksel, terbukti memberikan rasio kompresi yang baik pada citra grayscale dengan area homogen luas, seperti citra biner atau citra dengan latar belakang dominan. Pada kondisi tersebut, kemunculan piksel dengan nilai intensitas yang sama secara berurutan memungkinkan proses pengkodean berjalan efisien (Peng et al., 2024). Namun, pada citra dengan tekstur tinggi, variasi intensitas yang cepat dan tidak teratur menyebabkan panjang run menjadi pendek, sehingga rasio kompresi menurun secara signifikan. Studi implementasi sistem kompresi RLE pada citra .bmp grayscale juga melaporkan bahwa perbandingan ukuran sebelum dan sesudah kompresi sangat bergantung pada kompleksitas visual dan distribusi histogram intensitas piksel (Al-khassaweneh & Alshorman, 2026; Mufid & Mawaddah, 2022). Variasi pola, kontras, serta tingkat detail menjadi variabel determinan dalam menentukan efisiensi algoritma. Temuan tersebut menegaskan bahwa karakteristik visual objek bukan sekadar atribut estetis, melainkan faktor teknis yang secara langsung memengaruhi performa kompresi. Oleh karena itu, analisis terhadap struktur visual citra menjadi langkah penting sebelum menentukan metode kompresi yang digunakan (Mishra & Gupta, 2022).

Penelitian kompresi citra selama ini umumnya berfokus pada aspek teknis algoritma dan performa numerik tanpa mempertimbangkan konteks objek visual yang dikompresi. Padahal, dalam praktiknya, setiap objek memiliki karakteristik struktur spasial yang berbeda dan berpotensi memengaruhi efisiensi metode yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang tidak hanya menilai rasio kompresi secara kuantitatif, tetapi juga mengaitkannya dengan sifat visual objek sebagai variabel analitis. Penelitian ini menghadirkan kebaruan dengan mengaplikasikan metode Run Length Encoding (RLE) pada citra digital ukiran Bali sebagai representasi kearifan lokal. Ukiran Bali dikenal memiliki komposisi motif geometris dan lengkung dekoratif yang tersusun berulang secara sistematis, baik pada elemen flora, fauna, maupun simbol kosmologis. Struktur repetitif tersebut secara teoritis kompatibel dengan prinsip run-length, yang mengandalkan keberadaan piksel berintensitas sama dalam deret berurutan. Dengan memanfaatkan karakter visual ini, penelitian tidak sekadar menguji performa algoritma dari sisi teknis, melainkan menganalisis hubungan antara pola visual artefak budaya dan tingkat efisiensi kompresi digital yang dihasilkan. Pendekatan ini memperluas perspektif kompresi citra sebagai instrumen pelestarian visual, bukan hanya sebagai prosedur reduksi data. Integrasi antara teknologi informasi dan dokumentasi ukiran Bali secara komputasional membuka peluang pengembangan sistem arsip digital yang efisien sekaligus mempertahankan autentisitas representasi budaya secara presisi.

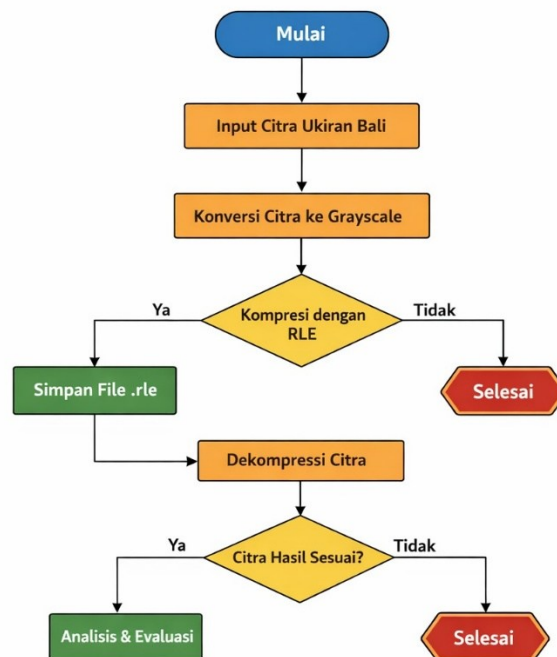
## **METODE**

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini bersifat eksperimental dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan mengukur secara objektif kinerja kompresi citra digital ornamen ukiran Bali menggunakan metode Run Length Encoding (RLE). Pendekatan eksperimental dipilih karena penelitian ini melibatkan proses implementasi algoritma, pengujian sistem, serta pengukuran parameter numerik seperti rasio kompresi, ukuran file, dan waktu komputasi. Objek penelitian berupa citra digital ornamen ukiran Bali yang diperoleh melalui proses dokumentasi langsung dan digitalisasi dengan format .bmp serta resolusi seragam untuk menjaga konsistensi data (Huda, 2020). Tahap awal penelitian meliputi pengumpulan dataset citra, seleksi berdasarkan ketajaman detail dan keterbacaan pola ukiran, serta standarisasi ukuran citra agar hasil pengujian dapat dibandingkan secara adil. Selanjutnya, citra dikonversi ke dalam format grayscale guna menyederhanakan representasi intensitas piksel dan mengurangi kompleksitas pengolahan warna. Proses ini bertujuan memastikan bahwa struktur data citra berada dalam kondisi homogen sebelum dilakukan kompresi, sekaligus meminimalkan variabel gangguan akibat variasi spektrum warna. Dengan prosedur tersebut, analisis performa RLE dapat dilakukan secara terkontrol dan terukur berdasarkan karakteristik visual ornamen ukiran Bali.

Tahap berikutnya dalam metode penelitian ini adalah implementasi algoritma Run Length Encoding (RLE) pada setiap baris piksel citra digital ornamen ukiran Bali yang telah melalui proses prapengolahan. Implementasi dilakukan dengan membaca data intensitas piksel secara sekuensial dari kiri ke kanan pada setiap baris citra, kemudian mengidentifikasi deret piksel yang memiliki nilai intensitas sama dan muncul secara berurutan. Setiap deret tersebut direpresentasikan dalam bentuk pasangan data yang terdiri atas nilai intensitas (grey level) dan panjang kemunculan berurutan (run-length). Representasi ini bertujuan mengurangi redundansi penyimpanan tanpa mengubah informasi asli citra. Sistem yang dibangun dirancang untuk menghasilkan file keluaran dengan ekstensi .rle sebagai bentuk hasil kompresi, sekaligus menyimpan metadata yang diperlukan untuk proses dekompresi. Pada tahap ini dilakukan pencatatan parameter kinerja secara kuantitatif, meliputi ukuran file sebelum kompresi, ukuran file setelah kompresi, waktu komputasi yang dibutuhkan selama proses encoding, serta perhitungan rasio kompresi sebagai indikator efisiensi algoritma.

Untuk memastikan validitas metode yang digunakan, dilakukan proses dekompresi terhadap file .rle dengan merekonstruksi kembali deret piksel berdasarkan pasangan nilai dan run-length yang tersimpan. Hasil dekompresi kemudian dibandingkan dengan citra asli untuk memastikan bahwa metode bersifat lossless, yaitu tidak terjadi perubahan struktur visual, distorsi, maupun kehilangan detail informasi pada ornamen ukiran Bali.

Tahap akhir penelitian ini difokuskan pada analisis dan evaluasi performa algoritma Run Length Encoding (RLE) yang telah diimplementasikan pada citra digital ornamen ukiran Bali. Evaluasi dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung rasio kompresi, yaitu perbandingan antara ukuran file citra asli dan ukuran file hasil kompresi, sehingga diperoleh gambaran tingkat reduksi data yang dihasilkan oleh algoritma. Selain itu, waktu komputasi yang dibutuhkan selama proses kompresi dan dekompresi turut dianalisis untuk menilai efisiensi pemrosesan sistem. Analisis tidak berhenti pada aspek numerik semata, melainkan dikaitkan dengan kompleksitas pola ornamen ukiran yang diuji, seperti tingkat repetisi motif, kepadatan detail, serta distribusi intensitas piksel dalam citra grayscale. Kompleksitas visual tersebut diasumsikan memengaruhi panjang run yang terbentuk dan pada akhirnya menentukan efektivitas metode RLE. Hasil pengujian kemudian diinterpretasikan secara komprehensif untuk mengidentifikasi hubungan antara karakteristik visual artefak budaya Bali dan kinerja kompresi secara komputasional. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya menghasilkan ukuran rasio kompresi sebagai indikator teknis, tetapi juga memberikan pemahaman konseptual mengenai bagaimana struktur estetika ukiran Bali berinteraksi dengan prinsip algoritmik RLE dalam konteks pengolahan citra digital.



**Gambar 1. Flowchart Implementasi Algoritma RLE pada Citra Digital Ornamen Ukiran Bali**

Gambar 1 flowchart tersebut menggambarkan alur sistem kompresi dan dekompresi citra digital secara terstruktur, dimulai dari proses inialisasi hingga evaluasi hasil. Secara umum, diagram memperlihatkan tahapan pengolahan citra berbasis algoritma yang dirancang untuk

mengurangi redundansi data tanpa menghilangkan informasi visual. Proses diawali dengan pemilihan dan pembacaan citra digital ornamen ukiran Bali dalam format .bmp, kemudian dilanjutkan dengan tahap prapengolahan berupa konversi citra ke grayscale guna menyederhanakan representasi intensitas piksel. Setelah itu, sistem memasuki tahap inti, yaitu implementasi metode Run Length Encoding (RLE), di mana setiap baris piksel dianalisis untuk mengidentifikasi deret intensitas yang berulang dan direpresentasikan dalam pasangan nilai serta panjang run. Hasil kompresi kemudian disimpan dalam format .rle sebagai keluaran sistem. Flowchart juga menampilkan proses dekompresi yang merekonstruksi kembali citra berdasarkan data hasil encoding untuk memastikan sifat lossless. Tahap akhir menunjukkan evaluasi performa melalui perhitungan ukuran file dan rasio kompresi, sehingga keseluruhan alur merepresentasikan integrasi proses teknis dan analitis dalam penelitian ini.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi metode Run Length Encoding (RLE) pada citra digital ornamen ukiran Bali mampu menjalankan proses kompresi dan dekompresi secara konsisten tanpa kehilangan informasi, sehingga memenuhi karakteristik algoritma lossless. Seluruh citra yang telah dikompresi dapat direkonstruksi kembali ke bentuk awal dengan struktur piksel dan ukuran identik, menegaskan bahwa tidak terjadi distorsi maupun degradasi kualitas visual. Analisis kuantitatif memperlihatkan bahwa rasio kompresi yang diperoleh tidak bersifat konstan, melainkan dipengaruhi secara langsung oleh kompleksitas pola ornamen yang diuji. Citra dengan komposisi area homogen lebih luas dan tingkat repetisi motif tinggi menghasilkan rasio kompresi yang lebih signifikan karena panjang run yang terbentuk cenderung lebih besar. Sebaliknya, citra dengan tekstur rapat, detail ukiran halus, serta variasi intensitas piksel yang cepat menghasilkan panjang run yang relatif pendek sehingga efisiensi kompresi menurun. Temuan ini selaras dengan prinsip dasar RLE yang mengandalkan keberadaan deret piksel berulang dalam satu baris data. Dengan demikian, efektivitas metode tidak hanya ditentukan oleh algoritma, tetapi juga oleh struktur visual dan distribusi intensitas citra ornamen ukiran Bali sebagai objek penelitian.

Secara kuantitatif, pengujian dilakukan terhadap lima citra digital ornamen ukiran Bali dengan variasi ukuran file dan tingkat kompleksitas visual yang berbeda. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio kompresi yang dihasilkan metode Run Length Encoding (RLE) berada pada rentang 17% hingga 79%, yang mengindikasikan adanya perbedaan efisiensi signifikan antar objek uji. Citra dengan pola repetitif dan area homogen lebih dominan cenderung menghasilkan rasio kompresi tinggi, sedangkan citra dengan detail ukiran rapat dan variasi intensitas piksel yang dinamis menunjukkan rasio kompresi lebih rendah. Selain itu, waktu komputasi tercatat meningkat secara signifikan pada citra berukuran besar, khususnya yang melebihi 10 MB, karena jumlah piksel yang diproses dalam tahap encoding menjadi lebih banyak. Kondisi ini memperlihatkan bahwa panjang data berbanding lurus dengan durasi proses kompresi. Temuan tersebut menegaskan bahwa efisiensi RLE dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu karakteristik pola visual dan resolusi citra, sehingga performa algoritma bersifat kontekstual terhadap struktur data yang diproses.

**Tabel 1. Hasil Pengujian Kompresi RLE**

No	Ukuran Asli (KB)	Ukuran Terkompresi (KB)	Selisih (KB)	Rasio Kompresi (%)	Waktu (detik)
1	257	208	49	19.06	1.35
2	625	330	295	47.2	2.45
3	12621	10470	2151	17.04	65.05

4	545	114	431	79.08	1.64
5	555	449	106	19.09	2.71

Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian kompresi citra digital menggunakan metode Run Length Encoding (RLE) pada lima data uji dengan variasi ukuran dan kompleksitas berbeda. Performa kompresi menunjukkan pola yang tidak seragam. Rasio kompresi tertinggi tercatat pada data keempat sebesar 79,08% dengan pengurangan ukuran mencapai 431 KB, mengindikasikan bahwa citra tersebut memiliki area homogen dan pola repetitif dominan sehingga panjang run yang terbentuk relatif besar. Sebaliknya, data ketiga dengan ukuran file paling besar, yaitu 12.621 KB, hanya menghasilkan rasio kompresi 17,04% serta membutuhkan waktu komputasi terlama sebesar 65,05 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa ukuran file dan kompleksitas distribusi intensitas piksel berpengaruh signifikan terhadap efisiensi encoding. Data kedua juga menampilkan performa cukup baik dengan rasio 47,2%. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa efektivitas RLE sangat bergantung pada karakteristik visual citra dan resolusi data yang diproses.



**Gambar 2. Implementasi Sistem Kompresi Citra Ornamen Ukiran Bali Berbasis RLE**

Gambar 2 tersebut menampilkan antarmuka aplikasi kompresi citra digital ornamen ukiran Bali menggunakan metode Run Length Encoding (RLE). Tampilan sistem dirancang dengan nuansa visual khas Bali yang memperkuat konteks penelitian, terlihat dari ornamen dekoratif pada bagian header. Menu utama terdiri atas fitur kompresi dan dekompresi citra, dengan input file berformat .bmp. Pada contoh yang ditampilkan, citra ornamen ukiran Bali berhasil dikompresi dari ukuran 545 KB menjadi 114 KB dengan rasio kompresi 79,08% dalam waktu 1,64 detik. Tabel hasil pengujian memperlihatkan parameter evaluasi performa algoritma secara kuantitatif dan terukur.

**Tabel 2. Hasil Dekompresi**

No	Ukuran File RLE (KB)	Ukuran Setelah Dekompresi (KB)	Status
1	208	257	Identik
2	330	625	Identik
3	10470	12621	Identik
4	114	545	Identik

Tabel 2 tersebut menunjukkan hasil pengujian proses dekompresi citra digital yang sebelumnya telah dikompresi menggunakan metode RLE. Setiap file RLE berhasil dikembalikan ke ukuran awalnya sebelum kompresi, yang terlihat dari kesesuaian antara ukuran setelah dekompresi dan ukuran citra asli pada pengujian sebelumnya. Misalnya, file RLE berukuran 208 KB kembali menjadi 257 KB, dan file 114 KB kembali menjadi 545 KB. Seluruh data uji memperoleh status “Identik”, yang menegaskan bahwa metode RLE bersifat lossless. Artinya, tidak terjadi kehilangan data maupun perubahan struktur piksel selama proses kompresi dan dekompresi berlangsung.

Proses dekompresi pada penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh citra hasil rekonstruksi kembali ke kondisi semula secara utuh, baik dari segi ukuran file maupun struktur piksel penyusunnya. Kesamaan ukuran setelah dekompresi dengan ukuran citra asli serta tidak adanya perubahan intensitas keabuan menegaskan bahwa metode Run Length Encoding (RLE) bekerja secara lossless. Tidak ditemukan distorsi visual, artefak kompresi, ataupun degradasi kualitas citra, sehingga integritas data terjaga sepenuhnya. Sebagai pembanding performa, dilakukan pengujian menggunakan perangkat lunak WinZip yang berbasis algoritma kompresi umum. Hasilnya menunjukkan bahwa WinZip mampu menghasilkan rasio kompresi lebih tinggi dan waktu komputasi lebih singkat. Namun, perbandingan ini tidak semata-mata dimaksudkan untuk menilai keunggulan numerik, melainkan untuk menempatkan RLE dalam konteks penelitian yang spesifik. Fokus penelitian ini bukan pada kompetisi efisiensi umum, melainkan pada analisis keterkaitan antara pola repetitif ornamen ukiran Bali dan karakteristik algoritmik RLE. Dengan demikian, relevansi metodologis penelitian terletak pada eksplorasi hubungan antara struktur visual budaya dan efisiensi komputasional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi metode Run Length Encoding (RLE) pada citra digital ornamen ukiran Bali menghasilkan rasio kompresi yang bervariasi antara 17,04% hingga 79,08%, dengan durasi komputasi yang dipengaruhi secara langsung oleh ukuran file dan kompleksitas pola visual. Citra dengan dominasi pola repetitif dan area homogen yang luas memperlihatkan efisiensi kompresi lebih tinggi karena terbentuk panjang run yang signifikan, sedangkan citra dengan detail ukiran rapat serta variasi intensitas piksel yang dinamis menunjukkan rasio kompresi lebih rendah. Seluruh proses dekompresi menghasilkan citra yang identik dengan citra asli tanpa distorsi maupun perubahan nilai intensitas, sehingga menegaskan bahwa RLE bekerja secara lossless dan mampu menjaga integritas visual ornamen. Temuan ini konsisten dengan penelitian terdahulu (Al-khassaweneh & Alshorman, 2026; Lee, 2023) yang menyatakan bahwa RLE efektif pada citra grayscale dengan distribusi intensitas homogen dan struktur repetitif, namun kurang optimal pada citra bertekstur kompleks. Studi kompresi berbasis RLE pada format .bmp juga menegaskan bahwa performa algoritma sangat dipengaruhi karakteristik histogram dan pola distribusi piksel. Dibandingkan penelitian yang berorientasi pada pengenalan pola berbasis jaringan saraf tiruan, penelitian ini menekankan efisiensi reduksi data berbasis struktur visual budaya, sehingga memperkaya perspektif kompresi citra dalam konteks pelestarian artefak digital Bali.

## **SIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode Run Length Encoding (RLE) efektif diterapkan pada kompresi citra digital ornamen ukiran Bali, khususnya pada citra dengan pola repetitif dan area homogen yang dominan. Implementasi

algoritma mampu menghasilkan rasio kompresi yang bervariasi antara 17,04% hingga 79,08%, dengan performa terbaik dicapai pada citra yang memiliki tingkat repetisi motif tinggi. Seluruh proses dekompresi menghasilkan citra yang identik dengan citra asli tanpa perubahan ukuran maupun struktur piksel, sehingga membuktikan bahwa metode RLE bersifat lossless dan menjaga integritas visual artefak budaya. Efisiensi kompresi terbukti dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kompleksitas pola visual dan resolusi citra yang diproses. Semakin kompleks distribusi intensitas piksel, semakin rendah rasio kompresi yang dihasilkan. Penelitian ini menunjukkan bahwa struktur estetika ukiran Bali memiliki keterkaitan langsung dengan efektivitas algoritma kompresi, sehingga membuka peluang integrasi teknologi informasi dalam pelestarian digital budaya secara efisien dan terukur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-khassaweneh, M., & Alshorman, O. (2026). *Frei-Chen bases based lossy digital image compression technique*. 20(1), 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2019.12.004>
- Embuldeniya, T. M., & Meegama, R. G. N. (2025). *Modified Discrete Wavelet Transformation to Compress DICOM Medical Images with Run-Length Encoding*. 18(May).
- Huda, H. H. (2020). *Lossless Text Image Compression using Two Dimensional Run Length Encoding*. 4(2), 75–78. <https://doi.org/10.15575/join.v4i2.330>
- Idrais, A. R., Aljarrah, I., & Al-khaleel, O. (2021). *A spatial image compression algorithm based on run length encoding*. 10(5), 2607–2616. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i5.2563>
- Kolekar, M. H., Jha, C. K., & Kumar, P. (2022). ECG Data Compression Using Modified Run Length Encoding of Wavelet Coefficients for Holter Monitoring. *IRBM*, 43(5), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2021.10.001>
- Lee, J. J. (2023). *SnakeVoxFormer: Transformer-based Single Image Voxel Reconstruction with Run Length Encoding arXiv: 2303.16293v1 [cs.CV] 28 Mar 2023*.
- Mishra, M., & Gupta, G. Sen. (2022). *Investigation of Energy Cost of Data Compression Algorithms in WSN for IoT Applications*.
- Mufid, M. R., & Mawaddah, S. (2022). *Image Data Compression in the Public Reporting System in Lamongan using the Huffman Method and Run Length Encoding*. 647, 887–891.
- Peng, X., Zhang, Y., Peng, D., & Zhu, J. (2024). Selective Run-Length Encoding. *Data Structures and Algorithms*, 12(1).
- Shi, J. (2026). *Column Partition and Permutation for Run Length Encoding in Columnar Databases*. February, 13–15. <https://doi.org/10.1145/3318464.3384413>
- Zafar, M., & Avanaki, K. (2025). *Adaptive Run- - Length Encoded DCT: A High- - Fidelity Compression Algorithm for Real- - Time Photoacoustic Microscopy Imaging in LabVIEW*. 1–9. <https://doi.org/10.1002/jbio.70043>