

Implementasi Algoritma Huffman Coding pada Sistem Kompresi Citra Digital Berbasis Web

Rizqy Supriyadi¹, Rendy Saputra², Fadil Abubakar³, Rizki Dwi Hapijar⁴, Raihan Putra Dwiantara⁵, Kus Supriyanto⁶, Muhamad Irfan⁷, Luthfi Indriyani⁸, Esron Rikardo Nainggolan⁹

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Jurusan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Bina Sarana Informatika
Jl. Kramat Raya No.98, Jakarta Pusat

⁹ Jurusan Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nusa Mandiri
Jl. Raya Jatiwaringin No.2, Jakarta Timur

E-mail : risqysupriyadi12@gmail.com¹, rendyrangers60@gmail.com², fadilabubakar8@gmail.com³, dhapijar@gmail.com⁴, raihandwiantara@gmail.com⁵, supriyanto.yth69@gmail.com⁶, muhamadirfan170104@gmail.com⁷, luthfi.lfy@bsi.ac.id⁸, esron.ekg@nusamandiri.ac.id⁹

Abstract— The increasing use of digital images has created greater demands for efficient image storage and transmission. Large image files require more storage space and bandwidth, making image compression an essential solution for improving efficiency while preserving visual quality. This study aims to implement a web-based digital image compression system by adopting the JPEG compression workflow using Discrete Cosine Transform (DCT), Quantization, Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), and Huffman Coding. The system was developed using the Laravel framework with HTML, CSS, JavaScript, and the HTML5 Canvas API, allowing users to perform image compression directly through a web browser without installing additional software. System performance was evaluated using five JPG/JPEG images with different visual characteristics, including homogeneous, geometric, and textured images. The evaluation employed Compression Ratio, Mean Squared Error (MSE), and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) to measure compression efficiency and image quality. Experimental results showed that the proposed system achieved Compression Ratio values ranging from 79.57% to 97.57% and PSNR values between 31.91 dB and 38.00 dB, indicating that significant file size reduction was achieved while maintaining good visual quality. It can be concluded that the proposed web-based implementation is capable of performing image compression effectively and provides an accessible solution for reducing image file sizes while preserving acceptable image quality.

Keywords—Compression Ratio, Discrete Cosine Transform, Huffman Coding, Image Compression, PSNR

Abstrak— Meningkatnya penggunaan citra digital menyebabkan kebutuhan terhadap media penyimpanan dan proses transmisi data yang lebih efisien semakin besar. Ukuran file citra yang besar memerlukan ruang penyimpanan dan bandwidth yang lebih tinggi sehingga diperlukan teknik kompresi citra untuk mengurangi ukuran file tanpa menurunkan kualitas visual secara signifikan. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem kompresi citra digital berbasis web dengan mengadopsi mekanisme kompresi JPEG menggunakan Discrete Cosine Transform (DCT), Quantization, Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding. Sistem dikembangkan menggunakan framework Laravel dengan dukungan HTML, CSS, JavaScript, dan HTML5 Canvas API sehingga proses kompresi dapat dilakukan secara langsung melalui browser tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan. Pengujian dilakukan menggunakan lima citra berformat JPG/JPEG dengan karakteristik visual yang berbeda, yaitu citra homogen, geometris, dan bertekstur. Evaluasi sistem dilakukan menggunakan Compression Ratio, Mean Squared Error (MSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem menghasilkan nilai Compression Ratio sebesar 79,57% hingga 97,57% dengan nilai PSNR antara 31,91 dB hingga 38,00 dB, yang menunjukkan bahwa ukuran file citra dapat dikurangi secara signifikan dengan tetap mempertahankan kualitas visual yang baik. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem kompresi citra berbasis web yang dikembangkan mampu melakukan kompresi citra secara efektif serta memberikan solusi yang mudah digunakan untuk mengurangi ukuran file citra tanpa mengurangi kualitas visual secara berarti.

Kata Kunci—Compression Ratio, Discrete Cosine Transform, Huffman Coding, Kompresi Citra, PSNR

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital menyebabkan kebutuhan terhadap media penyimpanan dan pertukaran data semakin meningkat, terutama pada citra digital seperti foto dan gambar. Citra digital umumnya memiliki ukuran file yang cukup besar karena menyimpan informasi piksel dalam jumlah banyak, sehingga dapat mempengaruhi efisiensi penyimpanan dan proses transmisi data melalui internet.

Oleh karena itu, teknik kompresi citra diperlukan untuk mengurangi ukuran file tanpa menghilangkan kualitas visual secara signifikan [1]–[2].

Salah satu metode yang umum digunakan dalam kompresi data adalah Huffman Coding. Algoritma ini bekerja dengan memberikan kode biner lebih pendek pada simbol yang sering muncul dan kode lebih panjang pada simbol yang jarang muncul sehingga ukuran data dapat

dikurangi secara efisien tanpa kehilangan informasi asli [3]–[4]. Dalam pengembangan kompresi citra modern, Huffman Coding sering dikombinasikan dengan metode lain seperti Discrete Cosine Transform (DCT) dan quantization untuk menghasilkan rasio kompresi yang lebih optimal [3].

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas penerapan Huffman Coding pada kompresi citra digital. Liu et al. mengembangkan algoritma kompresi citra lossless berbasis Huffman Coding yang dikombinasikan dengan linear prediction dan Integer Wavelet Transform (IWT) untuk meningkatkan rasio kompresi citra [5]. Penelitian lain oleh Kulkarni dan Dixit menggunakan kombinasi DCT, DWT, quantization, dan adaptive Huffman Coding untuk menghasilkan ukuran file yang lebih kecil dengan tetap menjaga kualitas visual citra [6]. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada analisis algoritma dan implementasi umum, sedangkan pengembangan aplikasi kompresi citra berbasis web yang interaktif masih relatif terbatas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem kompresi citra digital berbasis web menggunakan kombinasi metode Discrete Cosine Transform (DCT), Quantization, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding. Penelitian ini tidak berfokus pada pengembangan algoritma kompresi baru, melainkan pada implementasi mekanisme kompresi citra yang mengadopsi tahapan kompresi JPEG ke dalam aplikasi berbasis web yang dapat dijalankan secara langsung melalui browser. Sistem dikembangkan menggunakan framework Laravel dengan dukungan HTML, CSS, JavaScript, dan HTML5 Canvas sehingga pengguna dapat melakukan kompresi citra tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan. Selain menghasilkan gambar terkompresi, sistem juga menyediakan informasi evaluasi berupa Compression Ratio, Mean Squared Error (MSE), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), serta fitur *before-after comparison* untuk membantu pengguna mengevaluasi hasil kompresi secara visual.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui studi pustaka dan pengumpulan dataset citra digital. Studi pustaka dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi berupa artikel ilmiah dari jurnal yang berkaitan dengan kompresi citra digital, Discrete Cosine Transform (DCT), quantization, Run Length Encoding (RLE), serta Huffman Coding. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman mengenai konsep, metode, dan implementasi algoritma yang digunakan dalam penelitian.

Selain itu, penelitian ini menggunakan lima citra digital berformat JPG/JPEG sebagai dataset pengujian, yaitu Gunung.jpg (9.755,67 KB), Pantai.jpg (12.778,80 KB), Stadion.jpg (1.114,70 KB), Hapijar.jpg (3.314,22 KB), dan Papandayan.jpg (3.152,74 KB). Kelima citra tersebut dipilih

untuk merepresentasikan variasi karakteristik yang berbeda, meliputi citra pemandangan alam dengan area homogen luas (Gunung.jpg dan Pantai.jpg), citra dengan pola geometris dan garis tepi yang beragam (Stadion.jpg), serta citra dengan tekstur alami yang kompleks (Hapijar.jpg dan Papandayan.jpg). Variasi ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem secara komprehensif pada berbagai kondisi dan jenis citra digital.

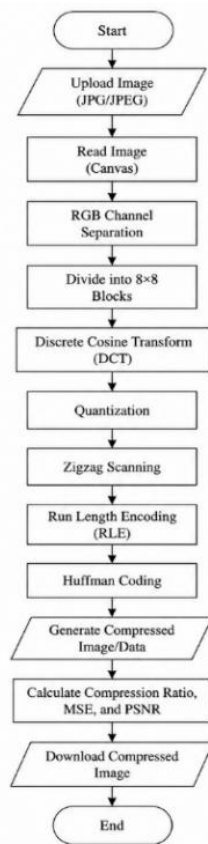
B. Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini dilakukan dengan membangun aplikasi kompresi citra berbasis web menggunakan framework Laravel. Antarmuka sistem dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript, sedangkan proses pengolahan citra dilakukan pada sisi client menggunakan elemen canvas. Sistem dirancang agar pengguna dapat melakukan kompresi citra secara langsung melalui browser tanpa memerlukan instalasi tambahan.

Sistem menyediakan fitur upload citra berformat JPG/JPEG, proses kompresi citra, visualisasi before-after slider, serta download hasil kompresi. Selain itu, sistem juga menampilkan parameter evaluasi berupa compression ratio, Mean Squared Error (MSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) untuk mengetahui tingkat efisiensi kompresi dan kualitas citra hasil kompresi.

C. Alur Sistem Kompresi Citra

Alur sistem kompresi citra dimulai dari proses upload citra berformat JPG/JPEG melalui aplikasi berbasis web. Citra kemudian dibaca menggunakan elemen canvas untuk memperoleh data piksel RGB sebelum dipisahkan ke dalam kanal warna dan dibagi menjadi blok berukuran 8×8 piksel. Proses kompresi dilakukan menggunakan Discrete Cosine Transform (DCT), quantization, zigzag scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding untuk mengurangi redundansi data serta memperkecil ukuran file citra. Setelah proses kompresi selesai, sistem menghasilkan file citra terkompresi yang dapat diunduh oleh pengguna. Sistem juga menghitung parameter evaluasi berupa compression ratio, Mean Squared Error (MSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) untuk mengetahui efisiensi kompresi dan kualitas citra hasil kompresi. Selain itu, sistem menyediakan fitur before-after slider untuk menampilkan perbandingan visual citra sebelum dan sesudah kompresi. Alur proses kompresi citra pada sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar. 1. Flowchart Proses Kompresi Citra Menggunakan Metode DCT dan Huffman Coding

Berdasarkan flowchart pada Gambar 1, proses kompresi citra dilakukan secara bertahap mulai dari upload citra hingga menghasilkan file citra terkompresi dengan ukuran lebih kecil namun tetap mempertahankan kualitas visual citra.

D. Tahapan Kompresi Citra

Tahapan kompresi citra pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa proses utama yang mengacu pada mekanisme kompresi JPEG, mulai dari pemisahan kanal warna hingga proses pengkodean data menggunakan Huffman Coding. Setiap tahapan memiliki fungsi berbeda dalam mengurangi redundansi data citra agar ukuran file dapat diperkecil tanpa menyebabkan penurunan kualitas visual yang signifikan. Adapun tahapan kompresi citra yang digunakan pada penelitian ini meliputi RGB Splitting, Blocking 8×8, Discrete Cosine Transform (DCT), Quantization, Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding.

1. RGB Splitting

Citra digital pada model RGB terdiri dari tiga kanal warna utama, yaitu Red (R), Green (G), dan Blue (B), di mana setiap piksel direpresentasikan berdasarkan kombinasi intensitas ketiga kanal tersebut [7]. Pada penelitian ini, proses RGB splitting dilakukan dengan memisahkan data piksel citra menjadi kanal Red, Green, dan Blue sebelum masuk ke tahap kompresi agar proses pengolahan data citra dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan efisien.

2. Blocking 8×8

Pada mekanisme kompresi JPEG, citra umumnya dibagi menjadi blok-blok berukuran 8×8 piksel sebelum dilakukan transformasi frekuensi menggunakan Discrete Cosine Transform (DCT). Pembagian blok dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses transformasi dan mengurangi kompleksitas pengolahan data citra. Selain itu, ukuran blok 8×8 dinilai mampu memberikan keseimbangan antara rasio kompresi dan kualitas visual citra hasil kompresi [8]. Pada penelitian ini, data citra yang telah dipisahkan ke dalam kanal RGB dibagi menjadi blok 8×8 piksel sebelum dilakukan proses transformasi DCT.

3. Discrete Cosine Transform (DCT)

Pada kompresi citra, Discrete Cosine Transform (DCT) digunakan untuk mentransformasikan nilai piksel pada domain spasial menjadi koefisien pada domain frekuensi [9]. DCT menghasilkan koefisien frekuensi rendah dan tinggi, di mana frekuensi rendah menyimpan informasi visual utama citra sedangkan frekuensi tinggi dapat dikurangi pada proses kompresi. Metode ini banyak digunakan pada kompresi JPEG karena mampu mengurangi redundansi data dengan kompleksitas yang relatif rendah. Persamaan DCT dua dimensi dituliskan sebagai berikut:

$$F(u, v) = \frac{1}{4} a(u) a(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(i, j) \cos \left[\frac{(2i+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2j+1)v\pi}{2N} \right]$$

Keterangan:

$F(u, v)$ = Koefisien hasil transformasi DCT

$f(i, j)$ = Nilai piksel pada koordinat (i,j)

u, v = Indeks frekuensi

N = Ukuran blok citra (8×8)

$a(u), a(v)$ = Faktor normalisasi DCT

Pada penelitian ini, proses DCT diterapkan pada setiap blok citra berukuran 8×8 piksel yang telah dipisahkan ke dalam kanal RGB. Transformasi dilakukan untuk mengubah data piksel menjadi koefisien frekuensi sehingga redundansi data citra dapat dikurangi sebelum masuk ke tahap quantization.

4. Quantization

Pada proses kompresi citra JPEG, tahap quantization digunakan untuk mengurangi nilai koefisien hasil transformasi Discrete Cosine Transform (DCT), terutama pada komponen frekuensi tinggi yang memiliki pengaruh lebih kecil terhadap persepsi visual manusia [10]. Quantization dilakukan dengan membagi koefisien DCT menggunakan matriks kuantisasi untuk mengurangi jumlah data yang disimpan. Pada penelitian ini, proses quantization diterapkan setelah transformasi DCT pada blok citra berukuran 8×8 piksel. Koefisien frekuensi tinggi dikurangi untuk menekan redundansi data dan memperkecil ukuran file, sementara koefisien frekuensi rendah dipertahankan karena memuat informasi visual utama citra. Proses ini menghasilkan kompresi yang lebih efisien dengan kualitas visual yang tetap baik. Persamaan quantization yang digunakan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q(u, v) = \text{round} \left(\frac{F(u, v)}{T(u, v)} \right)$$

Keterangan:

$Q(u, v)$ = koefisien hasil quantization pada koordinat (u, v)

$F(u, v)$ = Koefisien hasil transformasi DCT

$T(u, v)$ = nilai matriks quantization pada koordinat (u, v)

$\text{round}()$ = fungsi pembulatan ke bilangan bulat terdekat

Pada proses ini, setiap koefisien hasil transformasi DCT dibagi dengan nilai matriks quantization yang bersesuaian, kemudian dibulatkan ke bilangan bulat terdekat. Semakin besar nilai pada matriks quantization, semakin banyak informasi frekuensi tinggi yang dihilangkan sehingga ukuran file menjadi lebih kecil. Namun, penggunaan nilai quantization yang terlalu besar juga dapat menurunkan kualitas visual citra hasil kompresi.

5. Zigzag Scanning

Zigzag scanning merupakan proses pengurutan koefisien hasil quantization menggunakan pola zigzag dari komponen frekuensi rendah menuju frekuensi tinggi [11]. Zigzag scanning digunakan untuk mengurutkan koefisien hasil quantization agar proses pengkodean menjadi lebih efisien. Pada penelitian ini, proses diterapkan setelah quantization pada blok citra 8×8 piksel. Koefisien frekuensi rendah ditempatkan di awal, sedangkan frekuensi tinggi yang umumnya bernilai nol ditempatkan di akhir. Pengurutan ini mempermudah proses Run Length Encoding (RLE) sehingga ukuran data citra dapat dikurangi lebih optimal.

6. Run Length Encoding (RLE)

Run Length Encoding (RLE) merupakan metode kompresi data yang digunakan untuk mengurangi redundansi dengan merepresentasikan data berulang dalam bentuk pasangan nilai dan jumlah kemunculannya [12]. Run Length Encoding (RLE) digunakan untuk merepresentasikan data berulang menjadi bentuk yang lebih singkat sehingga ukuran data dapat diperkecil. Pada penelitian ini, RLE diterapkan setelah proses zigzag scanning. Koefisien yang memiliki banyak nilai nol berurutan diubah menjadi pasangan nilai dan jumlah kemunculannya untuk mengurangi redundansi data secara efisien. Proses ini membantu memperkecil ukuran data sebelum tahap Huffman Coding.

7. Huffman Coding

Huffman Coding adalah teknik kompresi lossless yang menghasilkan panjang kode biner berbeda untuk setiap data berdasarkan frekuensi kemunculannya. Data yang lebih sering muncul akan diberikan kode yang lebih pendek, sedangkan data yang lebih jarang muncul diberikan kode yang lebih panjang [13]. Metode ini digunakan untuk mengurangi ukuran data tanpa menghilangkan informasi asli sehingga banyak diterapkan pada proses kompresi citra digital dan mekanisme kompresi JPEG. Penggunaan Huffman Coding mampu meningkatkan efisiensi penyimpanan

data karena proses pengkodean dilakukan berdasarkan probabilitas kemunculan simbol pada data. Rata-rata panjang kode Huffman dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$L = \sum_{i=1}^n p_i l_i$$

Keterangan:

L = rata-rata panjang kode Huffman

p_i = probabilitas kemunculan simbol ke- i

l_i = panjang kode simbol ke- i

Pada penelitian ini, Huffman Coding diterapkan sebagai tahap akhir kompresi setelah proses Run Length Encoding (RLE) untuk menghasilkan representasi data yang lebih efisien sehingga ukuran file citra dapat diperkecil.

E. Evaluasi Kinerja Sistem

Evaluasi kinerja sistem dilakukan menggunakan parameter Compression Ratio, Mean Squared Error (MSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) untuk mengetahui tingkat efisiensi kompresi dan kualitas citra hasil kompresi. Compression Ratio digunakan untuk mengukur tingkat pengurangan ukuran file, sedangkan MSE dan PSNR digunakan untuk mengevaluasi kualitas citra hasil kompresi terhadap citra asli. Semakin kecil nilai MSE dan semakin besar nilai PSNR, maka kualitas citra hasil kompresi dianggap semakin baik.

1. Compression Ratio

Compression Ratio merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi proses kompresi citra dengan membandingkan ukuran file citra sebelum dan sesudah kompresi [14]. Semakin besar nilai compression ratio, maka proses kompresi dianggap semakin efektif karena ukuran file hasil kompresi menjadi lebih kecil dibandingkan ukuran file asli. Persamaan compression ratio dapat dituliskan sebagai berikut:

$$CR = \frac{S_o - S_c}{S_o} \times 100\%$$

Keterangan:

CR = compression ratio

S_o = ukuran file citra asli

S_c = ukuran file citra hasil kompresi

Pada penelitian ini, compression ratio digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem dalam mengurangi ukuran file citra setelah proses kompresi dilakukan. Semakin tinggi nilai compression ratio yang dihasilkan, maka semakin besar tingkat pengurangan ukuran file citra yang diperoleh.

2. Mean Squared Error (MSE)

Mean Squared Error (MSE) merupakan parameter evaluasi yang digunakan untuk mengukur tingkat perbedaan antara citra asli dan citra hasil kompresi melalui perhitungan rata-rata kuadrat selisih nilai piksel [15]. Nilai MSE digunakan untuk mengetahui tingkat

error yang dihasilkan setelah proses kompresi dilakukan. Semakin kecil nilai MSE, maka kualitas citra hasil kompresi dianggap semakin baik karena perbedaan terhadap citra asli semakin kecil.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i,j) - g(i,j)]^2$$

Keterangan:

MSE = nilai Mean Squared Error

M = jumlah baris (tinggi) citra

N = jumlah kolom (lebar) citra

$f(i,j)$ = nilai intensitas piksel citra asli pada koordinat (i,j)

$g(i,j)$ = nilai intensitas piksel citra hasil kompresi pada koordinat (i,j)

Pada penelitian ini, MSE digunakan untuk mengetahui tingkat error antara citra asli dan citra hasil kompresi. Semakin kecil nilai MSE yang diperoleh, maka kualitas citra hasil kompresi dianggap semakin mendekati citra asli.

3. Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) merupakan parameter evaluasi yang digunakan untuk mengukur kualitas citra hasil kompresi terhadap citra asli berdasarkan nilai Mean Squared Error (MSE) [16]. Nilai PSNR dinyatakan dalam satuan desibel (dB), di mana semakin tinggi nilai PSNR maka kualitas citra hasil kompresi dianggap semakin baik karena tingkat distorsi citra semakin kecil. Persamaan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right)$$

Keterangan:

$PSNR$ = nilai Peak Signal-to-Noise Ratio

255 = Nilai maksimum intensitas piksel citra 8-bit

MSE = nilai Mean Squared Error

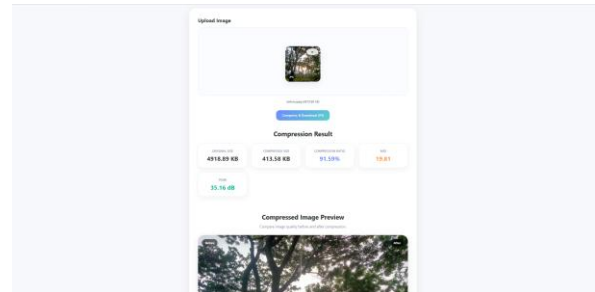
Pada penelitian ini, PSNR digunakan untuk mengetahui kualitas citra hasil kompresi dibandingkan dengan citra asli. Semakin tinggi nilai PSNR yang diperoleh, maka kualitas visual citra hasil kompresi dianggap semakin mendekati citra asli.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Implementasi sistem pada penelitian ini dilakukan dengan membangun aplikasi kompresi citra berbasis web menggunakan framework Laravel. Antarmuka sistem dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript, sedangkan proses pengolahan citra dilakukan pada sisi client menggunakan elemen canvas. Sistem dirancang agar pengguna dapat melakukan proses kompresi citra secara langsung melalui browser tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan. Sistem memiliki beberapa fitur utama, yaitu upload citra berformat JPG/JPEG, proses kompresi

citra menggunakan metode Discrete Cosine Transform (DCT) dan Huffman Coding, serta perhitungan parameter evaluasi berupa compression ratio, Mean Squared Error (MSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). Selain itu, sistem juga menyediakan fitur before-after slider untuk menampilkan perbandingan visual antara citra sebelum dan sesudah kompresi.



Gambar. 2. Tampilan Sistem Kompresi Citra

Berdasarkan implementasi yang ditunjukkan pada Gambar 2, sistem mampu melakukan proses kompresi citra secara otomatis mulai dari upload citra, proses kompresi, hingga menampilkan hasil evaluasi berupa compression ratio, MSE, dan PSNR. Sistem juga menyediakan fitur before-after slider untuk memperlihatkan perbandingan visual antara citra sebelum dan sesudah kompresi sehingga pengguna dapat melihat kualitas hasil kompresi secara langsung.

B. Hasil Kompresi Citra

Hasil kompresi citra pada sistem ditampilkan melalui perbandingan visual antara citra sebelum dan sesudah kompresi menggunakan fitur before-after slider. Berdasarkan hasil implementasi, sistem mampu mengurangi ukuran file citra dengan tetap mempertahankan kualitas visual citra secara baik. Perubahan visual pada citra hasil kompresi terlihat relatif kecil sehingga detail utama citra masih dapat dipertahankan.



Gambar. 3. Perbandingan Citra Sebelum dan Sesudah Kompresi

Berdasarkan hasil perbandingan visual pada Gambar 3, citra hasil kompresi masih mampu mempertahankan kualitas visual utama meskipun ukuran file telah berhasil dikurangi. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode DCT dan Huffman Coding dapat digunakan untuk melakukan kompresi citra secara efisien dengan tingkat distorsi visual yang relatif kecil.

C. Hasil Pengujian

Pengujian sistem dilakukan menggunakan lima citra digital yang memiliki karakteristik visual, ukuran file, dan

tingkat kompleksitas yang berbeda. Citra yang digunakan terdiri atas pemandangan alam (Gunung.jpg dan Pantai.jpg), objek dengan pola geometris (Stadion.jpg), serta citra dengan tekstur alami yang kompleks (Hapijar.jpg dan Papandayan.jpg). Variasi karakteristik tersebut dipilih untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan kompresi pada berbagai jenis citra sehingga hasil pengujian tidak hanya bergantung pada satu karakteristik gambar.

Seluruh citra diproses menggunakan parameter kompresi yang sama sehingga setiap citra memperoleh perlakuan yang identik selama proses pengujian. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi ukuran file asli (*original size*), ukuran file hasil kompresi (*compressed size*), *Compression Ratio*, *Mean Squared Error* (MSE), dan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR). *Compression Ratio* digunakan untuk mengukur tingkat pengurangan ukuran file, sedangkan MSE dan PSNR digunakan untuk mengevaluasi kualitas citra hasil kompresi dibandingkan dengan citra asli. Hasil pengujian sistem ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Kompresi Citra

Nama Citra	Ukuran Asli	Ukuran Kompresi	Compression Ratio	MSE	PSNR
Gunung.jpg	9755,67 KB	236,91 KB	97,57%	17,36	35,73 dB
Pantai.jpg	12778,80 KB	354,76 KB	97,22%	26,29	33,93 dB
Stadion.jpg	1114,70 KB	227,78 KB	79,57%	10,30	38,00 dB
hapijar.jpg	3314,22 KB	635,42 KB	80,83%	41,87	31,91 dB
papandayan.jpg	3152,74 KB	588,78 KB	81,32%	40,52	32,05 dB

D. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sistem berhasil mengurangi ukuran file pada seluruh citra yang diuji dengan nilai *Compression Ratio* berkisar antara 79,57% hingga 97,57%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi metode Discrete Cosine Transform (DCT), Quantization, Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding mampu melakukan kompresi citra secara efektif pada berbagai karakteristik gambar.

Citra Gunung.jpg menghasilkan nilai *Compression Ratio* tertinggi sebesar 97,57%, diikuti oleh Pantai.jpg sebesar 97,22%. Kedua citra tersebut didominasi oleh area yang relatif homogen, seperti langit, laut, dan permukaan air, sehingga sebagian besar informasi citra berada pada komponen frekuensi rendah. Setelah proses transformasi DCT dan Quantization, banyak koefisien frekuensi tinggi yang bernilai nol sehingga proses Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding dapat bekerja lebih efisien dalam mengurangi redundansi data. Kondisi tersebut menyebabkan ukuran file hasil kompresi menjadi jauh lebih kecil dibandingkan ukuran file aslinya.

Sebaliknya, Stadion.jpg, Hapijar.jpg, dan Papandayan.jpg menghasilkan nilai *Compression Ratio* yang lebih rendah, yaitu antara 79,57% hingga 81,32%. Stadion.jpg memiliki banyak garis, tepi objek, serta pola geometris yang menghasilkan distribusi frekuensi lebih beragam. Sementara

itu, Hapijar.jpg dan Papandayan.jpg didominasi oleh tekstur pepohonan, dedaunan, ranting, tulisan, serta objek-objek kecil yang tersebar pada hampir seluruh area citra. Kompleksitas tersebut menyebabkan lebih banyak koefisien DCT yang tetap dipertahankan setelah proses Quantization sehingga jumlah koefisien bernilai nol menjadi lebih sedikit. Akibatnya, efisiensi proses RLE dan Huffman Coding dalam mengompresi data menjadi lebih rendah dibandingkan citra yang memiliki area homogen.

Dari sisi kualitas citra, nilai Mean Squared Error (MSE) yang diperoleh berada pada rentang 10,30 hingga 41,87, sedangkan nilai Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) berada pada rentang 31,91 dB hingga 38,00 dB. Nilai PSNR tertinggi diperoleh pada Stadion.jpg, yaitu sebesar 38,00 dB, dengan nilai MSE sebesar 10,30, yang menunjukkan bahwa kualitas visual citra hasil kompresi masih sangat baik dan memiliki perbedaan yang kecil dibandingkan citra asli. Sebaliknya, Hapijar.jpg dan Papandayan.jpg menghasilkan nilai MSE yang lebih tinggi serta nilai PSNR yang lebih rendah karena kedua citra memiliki tekstur dan detail visual yang lebih kompleks. Kompleksitas tersebut menyebabkan perubahan nilai piksel setelah proses kompresi menjadi lebih besar. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar perubahan piksel yang terjadi selama proses kompresi, nilai MSE akan meningkat dan nilai PSNR akan menurun.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa karakteristik citra berpengaruh terhadap tingkat kompresi yang dihasilkan. Citra yang memiliki area lebih homogen cenderung menghasilkan nilai *Compression Ratio* yang lebih tinggi karena memiliki redundansi data yang lebih besar, sedangkan citra dengan tekstur dan detail yang kompleks cenderung menghasilkan nilai *Compression Ratio* yang lebih rendah. Meskipun demikian, seluruh citra hasil kompresi masih memiliki nilai PSNR di atas 30 dB, sehingga kualitas visualnya masih tergolong baik dan layak digunakan. Dengan demikian, kombinasi metode Discrete Cosine Transform (DCT), Quantization, Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding mampu menghasilkan pengurangan ukuran file yang signifikan dengan tetap mempertahankan kualitas visual citra pada tingkat yang baik.

E. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Untuk mengetahui posisi penelitian yang dilakukan, hasil penelitian ini dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan metode kompresi citra berbasis transformasi dan pengkodean Huffman. Perbandingan dilakukan berdasarkan metode yang digunakan serta hasil yang diperoleh dari masing-masing penelitian. Ringkasan perbandingan penelitian terdahulu ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
Liu et al. (2021)	Linear Prediction + Integer Wavelet	Menghasilkan kompresi citra <i>lossless</i> dengan efisiensi yang lebih baik

	Transform (IWT) + Huffman Coding	dibandingkan beberapa metode konvensional, terutama pada citra dengan tekstur kompleks. Menunjukkan bahwa kombinasi transformasi citra dan Adaptive Huffman Coding mampu memberikan keseimbangan antara tingkat kompresi dan kualitas citra berdasarkan parameter PSNR, SSIM, dan UIQI. Mengimplementasikan sistem kompresi citra berbasis web yang menghasilkan <i>Compression Ratio</i> sebesar 79,57%–97,57% dengan kualitas citra yang tetap baik berdasarkan nilai MSE dan PSNR.
Kulkarni & Dixit (2025)	DCT/DWT + Adaptive Huffman Coding	
Penelitian ini	DCT + Quantization + Zigzag Scanning + RLE + Huffman Coding	

Berdasarkan Tabel 2, penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu et al. (2021) dan Kulkarni dan Dixit (2025), yaitu sama-sama memanfaatkan algoritma Huffman sebagai tahap akhir proses kompresi citra. Perbedaannya terletak pada metode transformasi yang digunakan dan tujuan implementasi sistem. Liu et al. menggunakan kombinasi Linear Prediction, Integer Wavelet Transform (IWT), dan Huffman Coding untuk menghasilkan kompresi citra *lossless*, sedangkan Kulkarni dan Dixit menerapkan Discrete Cosine Transform (DCT), Discrete Wavelet Transform (DWT), dan Adaptive Huffman Coding untuk meningkatkan efisiensi kompresi dengan tetap mempertahankan kualitas citra.

Berbeda dengan penelitian terdahulu, penelitian ini mengimplementasikan kombinasi Discrete Cosine Transform (DCT), Quantization, Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding ke dalam aplikasi kompresi citra berbasis web yang dapat diakses secara langsung melalui browser tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan. Selain menghasilkan ukuran file yang lebih kecil, sistem juga menyediakan informasi evaluasi berupa Compression Ratio, Mean Squared Error (MSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) serta fitur *before-after comparison* sehingga pengguna dapat mengevaluasi kualitas hasil kompresi secara visual.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan *Compression Ratio* hingga 97,57% dengan nilai PSNR berada pada rentang 31,91 dB hingga 38,00 dB, yang menunjukkan bahwa kualitas visual citra hasil kompresi masih tergolong baik. Dengan demikian, penelitian ini tidak berfokus pada pengembangan algoritma kompresi baru, melainkan pada implementasi kombinasi metode kompresi citra yang telah ada ke dalam sebuah sistem berbasis web yang mudah digunakan serta dilengkapi dengan fitur evaluasi kualitas citra secara langsung. Hal tersebut menjadi kontribusi utama penelitian ini dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem

kompresi citra digital berbasis web menggunakan metode Discrete Cosine Transform (DCT), quantization, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Sistem kompresi citra digital berbasis web berhasil diimplementasikan menggunakan framework Laravel dengan dukungan HTML, CSS, dan JavaScript. Sistem mampu melakukan proses kompresi citra secara langsung melalui browser tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan proses kompresi citra digital.
- 2) Proses kompresi citra dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu RGB splitting, Blocking 8×8, Discrete Cosine Transform (DCT), quantization, zigzag scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding. Setiap tahapan memiliki peran dalam mengurangi redundansi data citra sehingga ukuran file dapat diperkecil secara lebih efisien.
- 3) Berdasarkan hasil pengujian terhadap beberapa citra JPG/JPEG, sistem mampu menghasilkan nilai compression ratio antara 79,57% hingga 97,57%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode yang digunakan mampu mengurangi ukuran file citra secara signifikan pada berbagai ukuran dan karakteristik citra digital.
- 4) Nilai Mean Squared Error (MSE) yang relatif kecil dan nilai Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) berkisar antara 31,91 dB hingga 38,00 dB menunjukkan bahwa kualitas visual citra hasil kompresi masih berada pada tingkat yang baik. Hal tersebut membuktikan bahwa proses kompresi yang dilakukan tidak menyebabkan penurunan kualitas visual citra secara signifikan.
- 5) Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, kombinasi metode DCT, Quantization, Zigzag Scanning, Run Length Encoding (RLE), dan Huffman Coding terbukti efektif untuk diterapkan pada sistem kompresi citra digital berbasis web karena mampu menghasilkan ukuran file yang lebih kecil dengan tetap mempertahankan kualitas visual citra hasil kompresi.
- 6) Penelitian ini memberikan kontribusi pada aspek implementasi sistem kompresi citra berbasis web dengan mengintegrasikan tahapan kompresi yang mengadopsi mekanisme JPEG ke dalam aplikasi yang dapat diakses secara langsung melalui browser. Implementasi tersebut memungkinkan pengguna melakukan kompresi citra secara praktis tanpa memerlukan perangkat lunak khusus, sekaligus memperoleh informasi kualitas hasil kompresi melalui parameter Compression Ratio, MSE, dan PSNR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Panjaitan, "Bulletin of Information Technology (BIT) Implementasi Metode Advance Image Coding Untuk Image Compression Pada Citra Natural," *Bulletin of Information Technology (BIT)*, vol. 2, no. 1, pp. 13–19, 2021.
- [2] M. Hafidh and A. Solichin, "Implementasi Kompresi Citra Dengan Metode Adaptive Huffman Coding Pada Sistem

- Penjualan Ardawalika Event Organizer,” *Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI) Jakarta-Indonesia*, 2022, [Online]. Available: <https://senafti.budiluhur.ac.id/index.php>
- [3] H. Lubis, D. Budi Srisulistiwati, and A. Ilham Ramdhani, “HUFFMAN CODING PADA IMAGE COMPRESSION,” *Science, and Technologies Journal*, vol. 12, no. 1, 2022.
- [4] S. Hasan, S. Do Abdullah, A. Ambarita, and I. Amirudin, “Penerapan Algoritma Huffman Coding Dalam Menghemat Ruang Penyimpanan Data Multimedia File (Teks dan Gambar) Berbasis Python,” *Jurnal Ilmiah ILKOMINFO - Ilmu Komputer & Informatika*, vol. 7, pp. 2621–4962, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.47324/ilkominfo.v7i2.268>.
- [5] X. Liu, P. An, Y. Chen, and X. Huang, “An improved lossless image compression algorithm based on Huffman coding,” *Multimed. Tools Appl.*, no. 4, pp. 4781–4795, Jun. 2022, doi: [10.1007/s11042-021-11017-5](https://doi.org/10.1007/s11042-021-11017-5).
- [6] P. D. Kulkarni and M. M. Dixit, “DCT and DWT Transform Methods in Adaptive Huffman Coding Systems: Variable Quantization Strategies for Improved Image Compression of HDR Images,” *IAENG Int. J. Comput. Sci.*, vol. 52, no. 12, pp. 4865–4878, Dec. 2025.
- [7] S.-E. Lee, S.-U. Cho, K. Chung, and H. Yoo, “RGB Channel Combinations Method for Feature Extraction in Image Analysis,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJASEIT)*, vol. 13, no. 3, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.3.18388>.
- [8] Y. Iqbal and O. J. Kwon, “Improved jpeg coding by filtering 8×8 dct blocks,” *J. Imaging*, vol. 7, no. 7, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/jimaging7070117>.
- [9] D. Nayak, K. Ray, T. Kar, and C. Kwan, “Walsh–Hadamard Kernel Feature-Based Image Compression Using DCT with Bi-Level Quantization,” *MDPI – Computers*, vol. 11, no. 7, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/computers11070110>.
- [10] C. F. Riman and P. E. Abi-Char, “Using DCT and Quadtree for Image Compression,” *International Journal of Computing and Digital Systems*, vol. 17, no. 1, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.12785/ijcds/1571019981>.
- [11] I. Q. Abduljaleel and A. H. Khaleel, “Significant medical image compression techniques: A review,” *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, vol. 19, no. 5, pp. 1612–1621, Aug. 2021, doi: [10.12928/TELKOMNIKA.v19i5.18767](https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v19i5.18767).
- [12] K. Siregar, “DIGITAL IMAGE COMPRESSION USING RUN LENGTH ENCODING METHOD,” *BIOS: Jurnal Informatika dan Sains*, vol. 1, 2023.
- [13] M. Al Qerom, M. Otair, F. Meziane, S. AbdulRahman, and M. Alzubi, “LICA-CS: Efficient Lossless Image Compression Algorithm via Column Subtraction Model,” *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 5, no. 5, pp. 1311–1321, 2024, doi: [10.18196/jrc.v5i5.21834](https://doi.org/10.18196/jrc.v5i5.21834).
- [14] Sindhu and Rohitha, “A NOVEL IMAGE COMPRESSION METHOD BASED ON ENERGY COMPACTION FOR RECONSTRUCTION OF IMAGE,” *Journal of Tianjin University Science and Technology*, vol. 55, no. 5, pp. 524–531, May 2022, doi: [10.17605/OSF.IO/V5YQS](https://doi.org/10.17605/OSF.IO/V5YQS).
- [15] V. I. Ungureanu, P. Negirla, and A. Korodi, “Image-Compression Techniques: Classical and ‘Region-of-Interest-Based’ Approaches Presented in Recent Papers,” *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) - Sensors*, vol. 24, no. 3, Jan. 2024, doi: [10.3390/s24030791](https://doi.org/10.3390/s24030791).
- [16] S. Li, J. Lu, Y. Hu, L. S. Mattos, and Z. Li, “Towards scalable medical image compression using hybrid model analysis,” *J. Big Data*, vol. 12, no. 45, pp. 1–31, Feb. 2025, doi: [10.1186/s40537-025-01073-1](https://doi.org/10.1186/s40537-025-01073-1).