

Ekstraksi Palet Warna untuk Kompresi Gambar Digital menggunakan Algoritma K-Means

Ahmad Ma'ruf^{1*}, Hidayatus Sibyan², Nahar Mardiyantoro³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,
Universitas Sains Al-Qur'an

*Email: ahmadmaruf2701@gmail.com

Abstrak

Seiring berkembangnya teknologi berdampak pada makin meningkatnya kebutuhan untuk efisiensi kompresi data gambar. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa algoritma K-Means dalam kompresi gambar digital. Algoritma K-Means digunakan untuk mengekstraksi palet warna dominan pada gambar, diikuti oleh proses kuantisasi warna untuk rekonstruksi gambar. Penelitian ini mengeksplorasi dampak jumlah kluster (K) terhadap rasio kompresi dan nilai Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan kompresi pada gambar RGB 24-bit dengan berbagai resolusi (VGA, SVGA, HD, FHD) menggunakan jumlah kluster yang bervariasi (8, 16, 32, 64, 96, 128). Analisis deskriptif dan korelasi dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara variabel jumlah kluster, rasio kompresi, nilai MSE (Mean Squared Error), nilai PSNR, dan durasi komputasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma K-Means efektif dalam kompresi gambar dengan rata-rata rasio kompresi 67%, nilai MSE 0,00077, nilai PSNR 81,43 dB, dan durasi komputasi 0,73 detik. Jumlah kluster berpengaruh kuat terhadap kualitas kompresi, dengan nilai PSNR dan rasio kompresi meningkat seiring bertambahnya jumlah kluster. Jumlah kluster optimal untuk kompresi gambar adalah 96, yang menghasilkan kompresi berkualitas baik dengan durasi komputasi yang efisien.

Kata kunci: Ekstraksi palet warna, K-Means, Kompresi gambar, Kuantisasi warna

Abstract

The growing needs for efficient image data compression have been driven by rapid technological advancement. This study evaluates the effectiveness of the K-Means algorithm for digital image compression through dominant color palette extraction and subsequent color quantization for image reconstruction. The research investigates how the number of clusters (K) affects both compression ratio and Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). An experimental approach was implemented, compressing 24-bit RGB images at various resolutions (VGA, SVGA, HD, FHD) using different cluster quantities (8, 16, 32, 64, 96, 128). Through descriptive and correlation analyses, relationships between cluster numbers, compression ratio, Mean Squared Error (MSE), PSNR values, and processing time were examined. Results demonstrate that the K-Means algorithm achieves effective image compression, with an average compression ratio of 67%, MSE of 0.00077, PSNR of 81.43 dB, and processing time of 0.73 seconds. Compression quality was strongly influenced by cluster quantity, with both PSNR values and compression ratios improving as cluster numbers increased. The research determined that 96 clusters represents the optimal configuration, delivering high-quality compression with reasonable computational efficiency.

Keywords: Color palette extraction, K-Means, Image compression, Color quantization

PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi informasi, penggunaan data gambar pada aplikasi/layanan digital semakin marak. Hal tersebut berdampak langsung terhadap meningkatnya kebutuhan efisiensi transmisi dan penyimpanan data gambar. Kompresi data merupakan teknik untuk memampatkan informasi sehingga diperoleh ukuran data yang

lebih kecil. Teknik kompresi data umumnya mengurangi dan/atau menghilangkan sebagian informasi pada data yang dikompres. Sehingga pemilihan metode kompresi data untuk setiap use case perlu mempertimbangkan tingkatan integritas data yang dibutuhkan pada use case tersebut. Kasus yang tidak membutuhkan integritas data yang tinggi dapat menggunakan

metode kompresi yang lebih agresif untuk mencapai ukuran data yang lebih kecil.

Gambar digital dapat direpresentasikan sebagai kumpulan piksel yang masing-masing menyimpan informasi warna, biasanya menggunakan model warna RGB (*Red, Green, Blue*). Himpunan piksel ini dapat direpresentasikan sebagai sebuah dataset yang memiliki 3 fitur (*features*) yaitu komponen warna merah, hijau dan biru. (Prabono, 2023).

Berdasarkan karekterisitk tersebut, data gambar dapat dikompresi dengan mengurangi variasi warna pada setiap piksel melalui proses ekstraksi palet warna dominan. Proses ini dilakukan dengan mengelompokkan piksel berdasarkan kemiripan warnanya dan menentukan warna paling dominan untuk mewakili setiap kelompok. Luaran yang dihasilkan adalah gambar dengan variasi warna yang lebih sederhana. (Wan, 2019).

Salah satu teknik yang tepat untuk mengelompokkan data adalah menggunakan teknik klasterisasi. K-Means merupakan algoritma klasterisasi non-hierarki yang berusaha mengelompokkan data menjadi satu atau lebih klaster. (Dabbura, 2022). Berdasarkan karakteristik data gambar, algoritma K-Means dapat digunakan sebagai metode ekstraksi palet warna gambar.

Pada praktiknya, penentuan jumlah klaster (K) pada algoritma K-Means dilakukan secara sembarang (*arbitrary*). Hal ini dikarenakan setiap studi kasus klasterisasi memiliki karakteristik data yang berbeda. Sehingga diperlukan iterasi proses klasterisasi menggunakan jumlah klaster (K) yang berbeda hingga diperoleh hasil yang optimal. (Ongkadinata dan Putri, 2020). Pada kasus kompresi gambar, jumlah klaster yang digunakan pada ekstraksi palet warna berdampak langsung terhadap luaran gambar hasil kompresi.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis performa algoritma K-Means dalam melakukan kompresi ukuran data gambar. (2) Mengetahui pengaruh jumlah klaster (K) terhadap rasio kompresi dan nilai *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* gambar. (3) Menentukan jumlah klaster (K) optimal untuk kasus kompresi gambar digital menggunakan algoritma K-Means.

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain: (1) Gambar digital yang dianalisis

merupakan gambar RGB dengan kedalaman bit warna (*color bit depth*) 24 bit dengan format *.jpg/.jpeg*. (2) Gambar digital yang dianalisis antara lain memiliki resolusi VGA (640 x 480 piksel), SVGA (800 x 600 piksel), HD (1280 x 720 piksel), dan FHD (1920 x 1080 piksel) masing-masing berjumlah tiga gambar. Serta (3) Jumlah Klaster (K) yang diuji coba antara lain sejumlah 8, 16, 32, 64, 96, dan 128 klaster.

Parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas hasil kompresi gambar antara lain: (1) *Mean Squared Error (MSE)*, parameter ini mengevaluasi hasil klasterisasi pada tahapan ekstraksi palet warna. *MSE* mengukur jarak rata-rata setiap *datapoint* terhadap pusat klaster (*centroid*). (2) *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)*, *PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)* adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau (*noise*) yang berpengaruh pada sinyal tersebut (Jamil, 2024). Melalui parameter ini, dapat diperoleh perbandingan kualitas gambar/citra digital sebelum dan sesudah dikompresi. Selain itu, parameter efisiensi metode kompresi diukur berdasarkan rasio kompresi. Rasio kompresi menunjukkan perbandingan ukuran data gambar sebelum dan sesudah kompresi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga mengenai studi kasus yang dapat dipecahkan menggunakan teknik klasterisasi, serta eksplorasi teknik kompresi data yang lebih efektif.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai kompresi gambar menggunakan teknik klasterisasi diantaranya dilakukan oleh (Wan, 2019) mengenai penerapan algoritma K-Means pada kompresi gambar. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan: (1) algoritma K-Means dapat digunakan sebagai metode kompresi gambar. (2) Meningkatnya jumlah klaster (K) yang digunakan akan menghasilkan rasio kompresi yang semakin kecil. (3) Semakin besar ukuran gambar yang dianalisis, maka dibutuhkan proses iterasi yang semakin banyak untuk menghasilkan rasio kompresi optimal.

Penelitian lain oleh (Putra, Aryuna dan Malani, 2021) mengenai kompresi gambar menggunakan algoritma K-Means menghasilkan rata-rata nilai PSNR sebesar 29,62 dB dan rata-rata rasio kompresi sebesar

72,40%. Penelitian ini hanya menguji 1 gambar berukuran 100x100 piksel, serta jumlah kluster yang digunakan sebanyak 8 kluster. Penelitian lain oleh (Ongkadinata dan Putri, 2020) menganalisis kualitas dan ukuran gambar hasil kuantisasi menggunakan algoritma K-Means++. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan nilai PSNR dan ukuran gambar akan semakin membesar seiring meningkatnya jumlah kluster yang digunakan. Algoritma K-Means++ menghasilkan rata-rata nilai PSNR >30 dB untuk jumlah kluster 128 dan 256. Penelitian tersebut menganalisis 1 jenis gambar berukuran 512x512 piksel.

Sebagian penelitian terdahulu hanya menganalisis satu jenis ukuran gambar. Hal tersebut belum dapat mewakili berbagai jenis dan ukuran gambar yang ada, sehingga belum dapat disimpulkan hasil performa algoritma K-Means sebagai metode kompresi gambar secara general. Jumlah kluster (K) yang digunakan pada penelitian terdahulu masih sangat terbatas sehingga belum dapat disimpulkan jumlah kluster optimal algoritma K-Means untuk kasus kompresi gambar.

Perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah variasi ukuran gambar yang diteliti, variasi jumlah kluster yang digunakan serta banyaknya iterasi yang dilaksanakan. Penelitian ini menawarkan analisis dengan jenis gambar yang lebih variatif sehingga diperoleh hasil analisis yang lebih komprehensif mengenai performa algoritma K-Means sebagai metode kompresi gambar.

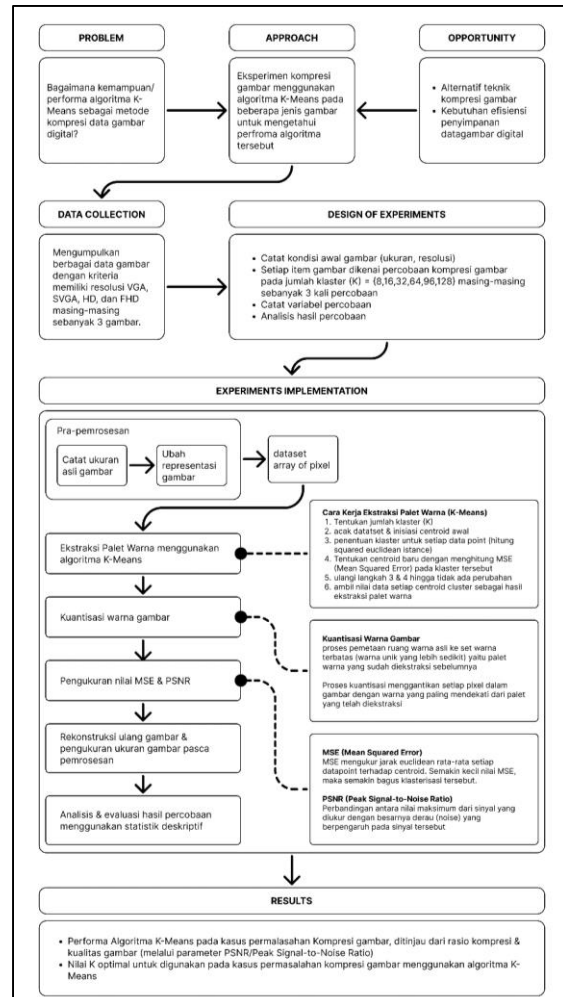
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental. Pendekatan eksperimental merupakan pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki dampak dari perlakuan tertentu terhadap objek penelitian dalam lingkungan yang terkendali. Dalam pendekatan eksperimental, variabel diukur sebelum dan setelah proses eksperimen, hal ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan kausalitas dari fenomena yang sedang diteliti.

3.1 Kerangka Pemikiran

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Antara lain: (1) Perumusan masalah serta peluang-peluang dalam memecahkan masalah tersebut, serta menentukan pendekatan penyelesaian masalah yang akan dilaksanakan. (2) Pengumpulan data serta penyusunan

rancangan alur eksperimen. (3) Pelaksanaan eksperimen. (4) Pengumpulan dan analisis data hasil eksperimen. Sehingga diperoleh hasil penelitian. Kerangka tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data dikumpulkan menggunakan metode eksperimen. Metode tersebut dilaksanakan dengan cara melakukan kompresi gambar pada beberapa jenis gambar menggunakan beberapa jumlah kluster yang telah ditentukan. Data yang dicatat antara lain jenis gambar yang diuji, jumlah kluster yang digunakan, rasio kompresi yang dihasilkan, nilai *Mean Squared error (MSE)*, nilai PSNR yang dihasilkan, serta waktu komputasi yang dibutuhkan.

Gambar uji coba dalam penelitian ini diperoleh dari layanan penyedia gambar gratis, seperti Pexels dan Wikimedia Commons, serta dari koleksi dokumentasi pribadi. Pemilihan beragam jenis gambar dilakukan untuk

memastikan hasil eksperimen mencakup berbagai variasi data gambar.

Tabel 1. Gambar Uji Coba

Resolusi Gambar	Jumlah
VGA (640x480)	3
SVGA (800x600)	3
HD (1280x720)	3
FHD (1920x1080)	3
TOTAL GAMBAR	12

Aplikasi dan pustaka yang digunakan pada penelitian ini antara lain Google Colaboratory sebagai *development environment*. Kemudian Numpy (*numerical python*), yaitu pustaka untuk mendukung komputasi saintifik seperti aljabar linier dan matriks. Scikit-learn, yaitu pustaka *machine learning* yang menyediakan berbagai model dan algoritma, diantara algoritma K-Means yang digunakan pada penelitian ini. Pillow (*Python Image Library*), sebuah pustaka untuk pemrosesan gambar. Pandas (*Python for Data Analysis*) yaitu pustaka untuk analisis data, serta pustaka Matplotlib untuk visualisasi data.

Berdasarkan batasan masalah penelitian, dapat diidentifikasi jumlah iterasi percobaan yang perlu dilaksanakan melalui persamaan berikut:

$$\text{Total Iterasi} = N_p \times N_c \times N_i \quad (1)$$

N_p = banyaknya gambar
 N_c = banyaknya klaster
 N_i = banyaknya iterasi

Berdasarkan persamaan (1), maka total iterasi percobaan pada penelitian ini adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total Iterasi} &= N_p \times N_c \times N_i \\ &= 12 \times 6 \times 3 \\ &= 216 \end{aligned} \quad (2)$$

3.3 Tahapan Pelaksanaan Eksperimen

Pada tahapan pelaksanaan eksperimen ini, setiap iterasi percobaan dilakukan beberapa langkah berikut:

1. Mulai
2. Pengukuran ukuran gambar sebelum dikompresi
3. Pra-pemrosesan data, tahapan ini mengubah data gambar menjadi array 3 dimensi yang berisi informasi titik koordinat piksel tersebut serta

informasi intensitas warna menggunakan kanal warna RGB

4. Ekstraksi palet warna menggunakan algoritma K-Means dengan jumlah klaster (K) yang telah ditentukan
5. Kuantisasi/mengubah nilai-nilai numerik pada data gambar asli dengan nilai numerik yang diperoleh berdasarkan hasil ekstraksi palet warna
6. Rekonstruksi ulang gambar berdasarkan data hasil kuantisasi gambar. Yaitu mengubah data array 3 dimensi menjadi sebuah data gambar kembali
7. Pengukuran nilai MSE & PSNR
8. Pengukuran ukuran gambar hasil kompresi
9. Selesai

Pengukuran ukuran (*size*) gambar pada awal iterasi dan di akhir iterasi bertujuan untuk mengukur rasio kompresi yang dihasilkan menggunakan persamaan

$$CR = 100\% - \left(\frac{S'}{S} \right) \times 100\% \quad (3)$$

CR = Rasio kompresi

S' = Ukuran gambar hasil kompresi

S = Ukuran gambar asli

3.4. Analisis Hasil Eksperimen

Data hasil eksperimen pada penelitian ini dianalisis menggunakan analisis deskriptif. Analisis deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik data tanpa mengambil kesimpulan umum. Analisis statistik deskriptif terdiri dari pencarian ukuran pemusatan data seperti rata-rata (*mean*), nilai tengah (*median*), dan modus. Serta ukuran sebaran data seperti nilai minimum, nilai maksimum, *range*, *Interquartile Range (IQR)*, varians, serta standar deviasi. (Hidayati, Handayani dan Ikasasari H, 2019)

Analisis korelasi data digunakan untuk mencari korelasi antara variabel-variabel penelitian guna menjawab permasalahan. Kekuatan hubungan antara dua variabel diukur menggunakan koefisien korelasi. Koefisien korelasi yang digunakan adalah *Pearson's correlation coefficient (r)*. Nilai r berkisar antara -1 dan 1. Semakin dekat nilai r ke 1 (positif) atau -1 (negatif), semakin kuat hubungan antara dua variabel tersebut. (Frost, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar yang dianalisis terdiri dari 12 gambar yang berbeda. Gambar 2 s.d. 5 merupakan gambar uji coba.



Gambar 2. Gambar uji resolusi VGA, kode: a1

Sumber: Gambar oleh Marina Hinic.

<https://www.pexels.com/photo/black-and-multicolored-i-love-you-heart-printed-textile-730801/>



Gambar 3. Gambar uji resolusi SVGA, kode: b2

Sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 4. Gambar uji resolusi HD, kode: c1

Sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 5. Gambar uji resolusi FHD, kode: d1

Sumber: Gambar oleh Abhishek Goel:

<https://www.pexels.com/photo/man-lying-on-barricades-1362910/>

Tahapan pelaksanaan eksperimen terbagi menjadi beberapa tahapan, antara lain: pra-eksperimen, pelaksanaan iterasi eksperimen, serta analisis hasil eksperimen. Tahap pra-

eksperimen meliputi persiapan dataset gambar uji coba, persiapan *platform* eksperimen, mengimpor pustaka yang dibutuhkan, serta menyusun urutan iterasi pelaksanaan eksperimen.

4.1 Pelaksanaan Eksperimen

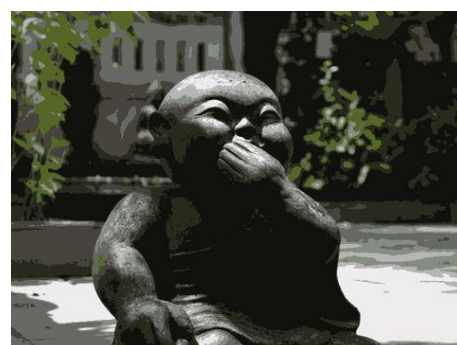
Pada setiap iterasi percobaan, dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

1. Mengambil informasi indeks iterasi percobaan, kode gambar yang akan diuji, serta jumlah kluster yang digunakan.
2. Memuat file gambar sesuai dengan kode gambar
3. Ekstraksi palet warna gambar sebanyak jumlah kluster
4. Kuantisasi gambar menggunakan warna hasil ekstraksi pada langkah c.
5. Simpan gambar hasil kuantisasi.
6. Mengambil data perhitungan MSE & PSNR gambar
7. Mengambil data perhitungan rasio kompresi yang dihasilkan
8. Simpan data eksperimen
9. Selesai

Setelah seluruh iterasi percobaan selesai dilaksanakan, diperoleh luaran hasil eksperimen. Berikut sampel komparasi gambar asli dengan gambar hasil kompresi



Gambar 6. Gambar asli - kode: b2 – ukuran: 82KB



Gambar 7. Hasil kompresi gambar b2 dengan K= 8 - ukuran: 27,2 KB



Gambar 8. Hasil kompresi gambar b2 dengan K= 64 - ukuran: 26,3 KB



Gambar 9. Gambar asli kode: c1 – ukuran: 305KB



Gambar 10. Hasil kompresi gambar c1 dengan K = 8 – ukuran: 91,3 KB



Gambar 11. Hasil kompresi gambar c1 dengan K = 64 – ukuran: 92,2 KB

4.2 Analisis Hasil Eksperimen

Data hasil eksperimen diolah menggunakan metode analisis statistik deskriptif. Data hasil eksperimen diolah dengan menghilangkan *outliers*, serta dikelompokkan berdasarkan jumlah klaster (K), hingga diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Ukuran pemusatan data

Variabel	Mean	Median	Q1	Q3
MSE	0,0007 7	0,0005 4	0,0000 03	0,0010 30
PSNR	81,43	82,75	78,85	84,78
Compression Ratio	0,67	0,67	0,67	0,67
Computation Time	0,73	0,76	0,68	0,80

Tabel 3. Ukuran Sebaran Data

Variabel	Range	IQR	Variance	Std. Deviation
MSE	0,0016 3	0,0007 07	0,0000 02	0,000 633
PSNR	11,27	6,024	19,45	4,410
CR	0,004	0,003	0,006	0,002
Time (s)	0,183	0,124	0,006	2,079

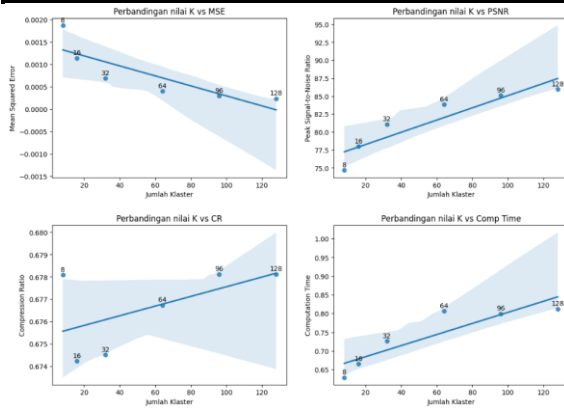
4.3 Analisis Korelasi Data

Analisis korelasi digunakan untuk mengukur hubungan antara dua variabel, baik kekuatan maupun arah (positif atau negatif). Kekuatan hubungan diukur dengan koefisien korelasi, seperti *Pearson's correlation coefficient* (r), yang nilainya berkisar antara -1 hingga 1. Semakin mendekati 1 atau -1, semakin kuat hubungan antara variabel. Berikut ini adalah hasil analisis korelasi antar variabel hasil eksperimen, dengan titik persinggungan antar baris dan kolom menunjukkan koefisien korelasi kedua variabel.

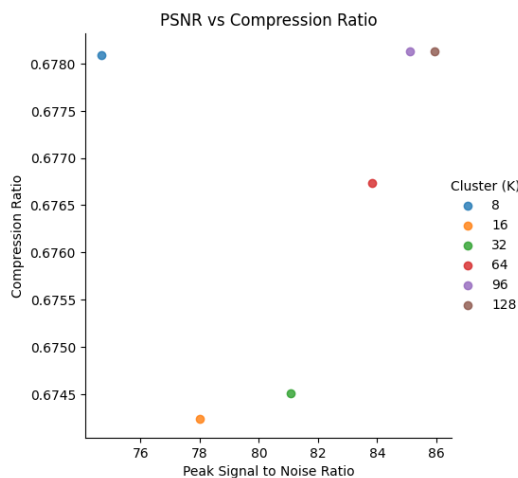
	k	mse	psnr	cr	comp_time
k	1.000000	-0.837140	0.917135	0.643603	0.895363
mse	-0.837140	1.000000	-0.982981	-0.206601	-0.986208
psnr	0.917135	-0.982981	1.000000	0.374801	0.997360
cr	0.643603	-0.206601	0.374801	1.000000	0.334024
comp_time	0.895363	-0.986208	0.997360	0.334024	1.000000

Gambar 12 Korelasi antar variabel

Korelasi antar variabel pada gambar 12 dapat divisualisasikan sebagai berikut, dengan ketentuan koefisien positif akan menghasilkan garis regresi yang mengarah ke kanan atas. Sedangkan koefisien negatif akan menghasilkan garis regresi yang mengarah ke kanan bawah.



Gambar 13. Visualisasi korelasi antar variabel

Gambar 14 Korelasi antara variabel PSNR dengan *Compression Ratio* (CR) terhadap jumlah kluster (K)

Gambar 14 menunjukkan korelasi antara variabel jumlah kluster (K) dengan variabel PSNR dan *Compression Ratio*. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diperoleh informasi bahwa jumlah kluster (nilai K) yang menghasilkan rasio kompresi dan nilai PSNR paling optimal adalah 96 dan 128.

4.4 Penentuan Jumlah Kluster Optimal

Jumlah kluster (K) optimal merupakan jumlah kluster yang paling efektif digunakan dalam proses ekstraksi palet warna gambar untuk menghasilkan nilai PSNR dan rasio kompresi yang paling optimal. Jumlah kluster (K) optimal diperoleh dengan cara menyaring data berdasarkan kriteria tertentu, antara lain:

1. Nilai *Compression Ratio* kluster optimal $\geq$ rata-rata nilai *Compression Ratio*
2. Nilai MSE kluster optimal $\leq$ rata-rata nilai MSE

3. Nilai PSNR kluster optimal $\geq$ rata-rata nilai PSNR
4. Nilai *Computation Time* $\leq$ 2 detik
5. Apabila data yang disaring terdapat lebih dari satu, maka dipilih data dengan rasio kompresi yang paling tinggi

```
Optimal df
k          96.000000
mse        0.000296
psnr       85.100347
cr         0.678125
comp_time  0.799549
Name: 4, dtype: float64
-----
Optimal value of K: 96.0
```

Gambar 15. Hasil perhitungan jumlah kluster optimal

Berdasarkan hasil perhitungan pada gambar 15, maka jumlah kluster (K) optimal untuk studi kasus kompresi gambar adalah 96.

SIMPULAN

Algoritma K-Means memberikan performa baik dengan rata-rata rasio kompresi 67%, nilai MSE 0,00077, nilai PSNR 81,43 dB, dan waktu komputasi rata-rata 0,73 detik. Jumlah kluster (K) berpengaruh kuat pada rasio kompresi, PSNR, dan waktu komputasi. Semakin besar K, rasio kompresi dan PSNR meningkat, namun waktu komputasi juga bertambah. PSNR tinggi menunjukkan kualitas kompresi yang baik, sedangkan rasio kompresi tinggi menandakan efisiensi data yang lebih baik. Kluster optimal adalah K=96. Jumlah kluster ini menghasilkan nilai PSNR diatas rata-rata, MSE dibawah rata-rata, rasio kompresi diatas rata-rata, dan waktu komputasi kurang dari 2 detik. Jumlah kluster (K) ini menghasilkan kompresi berkualitas dengan efisiensi tinggi dan waktu pemrosesan singkat.

Adapun saran mengenai pengembangan penelitian selanjutnya antara lain pengembangan implementasi perangkat lunak kompresi gambar menggunakan algoritma K-Means dengan efisiensi teknik kompresi gambar. Setelah itu dilakukan pengujian kualitas gambar hasil teknik kompresi gambar tersebut dan dilakukan integrasi teknik kompresi gambar tersebut pada layanan penyimpanan data gambar, seperti *cloud storage*, layanan pencadangan data, dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dabbura, I. (2022) *K-means Clustering: Algorithm, Applications, Evaluation Methods, and Drawbacks*, Medium. Tersedia: <https://towardsdatascience.com/k-means-clustering-algorithm-applications-evaluation-methods-and-drawbacks-aa03e644b48a> (Diakses: 21 April 2024).
- Frost, J. (2018) *Interpreting Correlation Coefficients, Statistics By Jim*. Tersedia: <http://statisticsbyjim.com/basics/correlations/> (Diakses: 30 June 2024).
- Hidayati, T., Handayani, I. and Ikasasari H, I. (2019) *Statistika Dasar - Panduan Bagi Dosen dan Mahasiswa*. CV Pena Persada. Tersedia: <https://osf.io/27edm> (Diakses: 30 June 2024).
- Jamil, S. (2024) 'Review of Image Quality Assessment Methods for Compressed Images', *Journal of Imaging*, 10(5), p. 113. Tersedia: <https://doi.org/10.3390/jimaging10050113>.
- Ongkadinata, D. dan Putri, F.P. (2020) 'Quality and size assessment of quantized images using K-Means++ clustering', *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(3), pp. 1183–1188. Tersedia: <https://doi.org/10.11591/eei.v9i3.1985>.
- Prabono, A.G. (2023) *K-Means Untuk Ekstraksi Palet Warna Otomatis*, Aria Ghora Prabono. Tersedia: <https://ghora.net/notes/20230818-kmeans-ekstraksi-palet/> (Diakses: 27 April 2024).
- Putra, A.B.W., Aryuna, M.T. dan Malani, R. (2021) 'Kompresi Citra Digital Dengan Basis Komponen Warna RGB Menggunakan Metode K-Means Clustering', *Jurnal Komputer Terapan*, 7(1), pp. 14–23. Tersedia: <https://doi.org/10.35143/jkt.v7i1.3719>.
- Wan, X. (2019) 'Application of K-means Algorithm in Image Compression', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 563(5), p. 052042. Tersedia: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/563/5/052042>.