

Implementasi Algoritma K-Means Pada Pengolahan Citra Untuk Deteksi Bentuk Dan Material Gelas

Kamila Amaliah Putri^a, Agung Ramadhanu^b

^aFakultas Ilmu Komputer, Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, Jl Lubuk Begalung Padang, kamilaamaliahputri@gmail.com

^bFakultas Ilmu Komputer, Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, Jl Lubuk Begalung Padang, Agung_ramadhanu@upiypk.ac.id

Submitted: 27-09-2025, Reviewed: 02-10-2025, Accepted 26-09-2025

<https://doi.org/10.47233/jteksis.v7i4.2267>

Abstract

Digital image processing is a field of computer science that plays an important role in automating object identification processes. This study discusses the implementation of the K-Means Clustering algorithm to detect the shape and material of glass objects based on digital images. The research method includes image data collection, color space conversion from RGB to Lab*, image segmentation using K-Means Clustering, and feature extraction of shape and texture using the GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) method. The K-Means algorithm is applied to group image pixels into several clusters based on color similarity and texture patterns, which facilitates the classification of glass objects according to their material (glass, plastic, or clay) and shape. Experimental results show that the proposed method achieves a classification accuracy of 90% with an error rate of 10%, indicating good performance in image segmentation and material identification. The proposed method also offers computational efficiency, serving as a lightweight solution compared to deep learning approaches for image-based beverage container classification. Therefore, this approach can be an effective alternative for automating object identification in industrial and research applications.

Keywords: Digital Image Processing, K-Means Clustering, Object Identification, Shape Detection, Glass Material.

Abstrak

Pengolahan citra digital merupakan bidang ilmu komputer yang berperan penting dalam otomatisasi proses identifikasi objek. Penelitian ini membahas implementasi algoritma K-Means Clustering untuk mendeteksi bentuk dan material gelas berbasis citra digital. Metode penelitian meliputi pengumpulan data citra, konversi ruang warna dari RGB ke Lab*, segmentasi menggunakan K-Means Clustering, dan ekstraksi ciri bentuk serta tekstur menggunakan metode GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix). Algoritma K-Means digunakan untuk mengelompokkan piksel citra ke dalam beberapa kluster berdasarkan kesamaan warna dan pola tekstur, sehingga memudahkan proses klasifikasi gelas berdasarkan material (kaca, plastik, atau tanah liat) serta bentuknya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode ini mampu mencapai akurasi klasifikasi sebesar 90% dengan error rate 10%, yang menunjukkan kinerja cukup baik dalam segmentasi dan identifikasi material. Metode yang diusulkan juga unggul dari sisi efisiensi komputasi karena menjadi solusi ringan dibandingkan pendekatan deep learning dalam klasifikasi wadah minuman berbasis citra. Dengan demikian, pendekatan ini dapat menjadi alternatif efektif untuk otomatisasi identifikasi objek di bidang industri dan penelitian.

Kata kunci: Pengolahan Citra, K-Means Clustering, Identifikasi Objek, Deteksi Bentuk, Material Gelas

This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license



PENDAHULUAN

Air memiliki fungsi yang sangat penting dalam metabolisme tubuh. Jika terjadi kekurangan air, tubuh tidak akan bekerja secara optimal karena metabolismenya akan terganggu. Air berguna untuk melarutkan zat dalam tubuh, membentuk sel, mempercepat reaksi enzim, ekskresi metabolisme tubuh, serta mengatur suhu tubuh. Kebutuhan air pada masing – masing individu berbeda tergantung dari aktivitas fisik, jenis kelamin, serta faktor lingkungan [4]. Sebagai makhluk hidup, manusia memerlukan asupan cairan yang sangat penting untuk menjaga Kesehatan, mencegah dehidrasi, dan berkegiatan sehari-hari. Ketika melakukan aktivitas fisik yang berat, tubuh juga akan membutuhkan lebih banyak cairan. Perkiraan pada usia 15 – 30 tahun manusia membutuhkan asupan air minum

40ml/kg berat badan. Air akan dikeluarkan dari tubuh melalui tiga mekanisme, yakni feses, urin, dan keringat. Banyaknya cara pengeluaran air dari tubuh ini membuat manusia juga memerlukan banyak asupan air agar tubuh bisa seimbang. Jika tidak seimbang, tubuh akan mengalami dehidrasi dalam waktu cepat. Dalam waktu yang lama, kekurangan air dapat menyebabkan gangguan kerja ginjal. Jumlah anjuran konsumsi air minum perhari sekitar dua liter atau delapan gelas [4]. Konsumsi banyak air putih memiliki hubungan dengan kerja ginjal. Semakin banyak air putih yang dikonsumsi, semakin ringan kerja dari ginjal. Hal ini terjadi karena ketika tubuh mendeteksi kekurangan air, ADH akan di sekresi. Menurut [4]. Oleh karena itu ketersediaan minuman yang higienis dan mudah di jangkau menjadi hal yang penting dalam kehidupan.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka diperlukan adanya wadah yang dapat menampung dan memudahkan kita saat mengonsumsi minuman, seperti gelas dan teko. Gelas memiliki fungsi sebagai wadah untuk menampung minuman dalam jumlah yang sesuai untuk perorangan atau individu, sedangkan teko berfungsi untuk menyimpan minuman dalam jumlah yang lebih besar. Teko juga memiliki fungsi untuk memudahkan penuangan minuman dan menjaga suhu minuman agar tetap optimal. Gelas memiliki evolusi mengikuti zaman, Sekitar 3.500–3.000 SM, bangsa Mesopotamia dan Mesir kuno sudah menggunakan bejana tanah liat untuk minum, bangsa Romawi (1 Masehi) mulai memproduksi gelas kaca dengan teknik peniupan kaca (glassblowing) yang ditemukan di wilayah Suriah. Perkembangan teknologi memungkinkan produksi gelas kaca dalam jumlah besar dan harga lebih murah, muncul gelas standar rumah tangga dan gelas khusus minuman (bir, anggur, teh).

Gelas yang digunakan oleh para elite memiliki beragam bentuk dan ukuran. Gelas-gelas tersebut umumnya terbuat dari kristal, dan memiliki motif atau gambar yang bermacam-macam [7]. Gelas dan teko bisa terbuat dari banyak bahan, seperti kaca, plastic, maupun tanah liat. Material, desain dan bentuk pada gelas dan teko sangat mempengaruhi fungsi, keamanan dan kenyamanan penggunaannya. Gelas memiliki beberapa pengaruh diantaranya pengaruh material, pengaruh desain, dan pengaruh bentuk. Adapun pengaruh Material dari kaca adalah bening, tidak bereaksi dengan minuman, namun bisa pecah jika jatuh. Beberapa jenis kaca dirancang lebih kuat atau tahan panas untuk keamanan tambahan. Material plastik Lebih ringan dan tahan benturan, namun beberapa jenis bisa bereaksi dengan minuman panas atau tergores. Sedangkan keramik Menahan panas dengan baik, namun bisa berat dan mudah pecah jika terbentur. Pengaruh Desain Bentuk Ergonomis, Desain yang pas di tangan mengurangi risiko tergelincir dan tumpah. Pegangan, Desain pegangan yang nyaman dan aman sangat penting untuk kenyamanan saat mengangkat teko panas. Bibir Gelas/Teko, Bentuk bibir yang dirancang dengan baik dapat memudahkan aliran minuman agar tidak tumpah saat menuang. Dan Pengaruh Bentuk meliputi ukuran, Bentuk dan ukuran yang tepat akan memengaruhi seberapa banyak cairan yang dapat ditampung serta bagaimana cairan disimpan. Kedalaman, Kedalaman gelas atau teko memengaruhi kemampuan menahan suhu dan risiko tumpah saat diisi atau digunakan.

Proses identifikasi bentuk dan material atau bahan pembuatan gelas secara manual masih banyak dilakukan, dimana hal ini memerlukan waktu dan tenaga cukup besar serta sering terjadi kesalahan.

Selain itu, variasi bentuk dan material gelas yang beragam menambah kompleksitas dalam proses identifikasi tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan metode otomatis yang mampu melakukan identifikasi dengan cepat dan akurat. Tujuan dari pengenalan pola adalah untuk mengklasifikasi data ke dalam berbagai kelompok atau kelas [5].

Selain itu, dengan semakin berkembangnya teknologi, kebutuhan akan informasi yang cepat dan mudah diakses juga semakin meningkat [1]. perkembangan teknologi dampak yang diberikan sangat besar pada kehidupan manusia dalam berbagai bidang, salah satunya dalam hal pengolahan citra digital (digital image processing). Ada banyak penerapan yang dikembangkan, salah satunya adalah pemanfaatan teknik pengolahan citra untuk melakukan proses identifikasi dan klasifikasi objek secara otomatis.

Pengolahan Citra Digital adalah cabang dari ilmu komputer yang berkaitan dengan manipulasi dan analisis gambar secara komputasional. Pengolahan ini melibatkan serangkaian tahapan sistematis, termasuk akuisisi citra, pra-pemrosesan, segmentasi, ekstraksi fitur, dan klasifikasi. Dalam konteks klasifikasi objek berbasis visual seperti toge dan jamur enoki, pengolahan citra menjadi alat yang sangat penting untuk mendeteksi perbedaan-perbedaan halus yang sulit dikenali secara konsisten oleh manusia [2]. Segmentasi citra merupakan suatu penggunaan teknologi yang bertujuan memisahkan suatu objek dengan backgroundnya. Pembagian citra berdasarkan wilayah (region) yang memiliki kemiripan tingkat keabuan piksel disekitarnya [6]. Pengolahan citra adalah teknik yang digunakan untuk mengolah, menganalisis, dan mengekstraksi informasi dari gambar digital. Teknologi ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, termasuk dalam pengenalan pola, pemantauan kualitas produk, deteksi objek, hingga pengambilan keputusan berbasis visual. Dalam konteks analisis produk, pengolahan citra dapat digunakan untuk mengekstraksi fitur visual dari objek tertentu sehingga memudahkan klasifikasi dan analisis lebih lanjut [3].

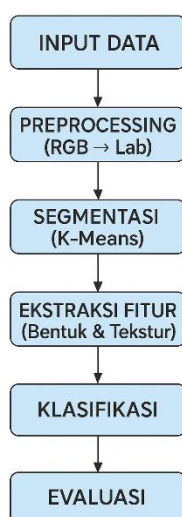
Penelitian ini menggunakan metode K-means clustering. K-means Clustering merupakan salah satu metode analisis yang sederhana dan efisien yang sering diaplikasikan pada analisis cluster data skala besar dan telah menghasilkan berbagai macam algoritma analisis cluster lainnya [9]. K-means Clustering adalah metode pengelompokan nonhirarki yang bertujuan untuk membagi data menjadi satu atau lebih kelompok. Metode ini mengelompokkan data ke dalam cluster sehingga data dengan karakteristik serupa ditempatkan dalam satu cluster yang sama, sementara data dengan karakteristik berbeda dikelompokkan ke

dalam cluster yang lain [5]. Tujuan dari K-means adalah untuk mengurangi penjumlahan kuadrat jarak antara titik data dan pusat cluster masing-masing [8]. Algoritma K-Means mengambil sampel dari populasi untuk membentuk cluster dasar dan menghitung ulang posisi pusat cluster hingga semua data terorganisir ke dalam cluster yang tepat [5]. Secara sederhana, algoritma K-Means adalah algoritma data mining yang digunakan untuk memecahkan masalah pengelompokan (clustering) [8]. Klasifikasi yang dilakukan diimplementasikan dalam suatu aplikasi atau program komputer menggunakan Matlab [8].

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh berfokus pada satu jenis atau (single-class classification) membedakan tipe objek dalam kategori yang sama, sementara pada penelitian ini tidak hanya fokus pada satu jenis klasifikasi, namun juga menggabungkan K-means dan GCLM sehingga klasifikasi pada penelitian ini lebih kompleks dan multidimensi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental, karena pada keseluruhan proses dilakukan melalui serangkaian percobaan dan pengujian langsung pada data citra digital yang bertujuan untuk memperoleh hasil yang terukur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi bentuk dan material gelas secara otomatis menggunakan algoritma K-Means Clustering. Langkah-langkah penerapan K-means clustering dalam klasifikasi



Gambar 1 tahapan penelitian

2.1. Input Data

Langkah awal dilakukan dengan pengumpulan gambar yang bersumber pada google. Pencarian gambar dilakukan dengan menggunakan laptop Acer Swift SF314-54G yang mana 10 gambar perkategori dengan kategori kaca 10 gambar, plastik 10 gambar dan tanah liat 10 gambar. Setelah gambar di dapatkan gambar akan di olah dengan menggunakan software Matlab R2024a. Data citra ini merupakan dasar pada proses analisis untuk selanjutnya.

2.2. Preprocessing (Konversi RGB L*a*b)

Pada tahap ini dilakukan proses konversi citra dari ruang warna RGB (Red, Green, Blue) ke ruang warna yang lebih mendekati persepsi warna manusia. Ruang warna L*a*b dirancang agar komponen warnanya terpisah secara independen:

- L* merepresentasikan kecerahan (lightness), dengan rentang dari 0 (hitam) sampai 100 (putih).
- a* merepresentasikan posisi warna antara hijau (-a*) dan merah (+a*).
- b* merepresentasikan posisi warna antara biru (-b*) dan kuning (+b*).

2.3. Segmentasi (K-Means Clustering)

Pada tahap ini dilakukan proses membagi citra digital menjadi beberapa bagian atau segmen yang homogen berdasarkan karakteristik tertentu, seperti warna, intensitas, atau tekstur. Salah satu metode segmentasi yang populer adalah menggunakan algoritma K-Means Clustering, yaitu teknik pengelompokan data tanpa pengawasan (unsupervised learning) yang membagi piksel citra ke dalam k cluster berdasarkan kemiripan fitur.

$$V_i = \frac{1}{N_i} \sum_{q=1}^{N_i} X_q \quad (1)$$

Keterangan

V_i = centroid pada cluster ke-
 N_i = jumlah data (piksel) dalam cluster ke-
 X_q = data ke- (misalnya nilai vektor warna/fitur piksel) pada cluster ke-

2.4. Ekstraksi Fitur (Bentuk dan Tekstur)

Ekstraksi ciri pada citra adalah proses pengambilan informasi penting dari citra digital yang dapat digunakan untuk mengenali, mengklasifikasi, atau menganalisis objek dalam citra tersebut. Dua jenis ciri yang sering digunakan dalam pengolahan citra adalah ciri bentuk dan ciri tekstur.

a) Bentuk

Pada ekstraksi ciri bentuk (shape feature) pada pengolahan citra digunakan rumus metric untuk mengukur kebulatan dari suatu objek

$$M = \frac{4\pi \times A}{C^2} \quad (2)$$

Keterangan

M = Metric (*Roundness*)

A = Area (luas objek, jumlah piksel pada objek)

C = Circumference (keliling objek, jumlah piksel pada tepi objek)

b) Tekstur

Pada ekstraksi tekstur digunakan rumus tekstur Energy, Contrast, Homogeneity, Entropy, dan Correlation

$$Energy = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} P(i,j)^2 \quad (3)$$

$$Contrast = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} (i-j)^2 P(i,j) \quad (4)$$

$$Homogeneity = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{P(i,j)}{1+|i-j|} \quad (5)$$

$$Entropy = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} P(i,j) \log P(i,j) \quad (6)$$

$$Correlation = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)P(i,j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (7)$$

Keterangan

$P(i,j)$ = kemungkinan muncul pasangan intensitas i dan j pada GLCM

G = jumlah level sebuah keabuan (gray levels)

μ_i, μ_j = rata-rata distribusi baris atau kolom

$\sigma_i \sigma_j$ = standar deviasi distribusi baris atau kolom

2.5. Klasifikasi

Data pada hasil ekstraksi digunakan untuk mengenali kategori gelas berdasarkan material dan bentuknya. Pada tahap ini klasifikasi dilakukan menggunakan hasil kluster K-means sebagai dasar penentuan objek seperti kaca, plastic, tanah liat.

2.6. Evaluasi

Proses ini merupakan tahap akhir dalam proses pengolahan citra digital yang bertujuan untuk menilai Tingkat keberhasilan sistem yang digunakan

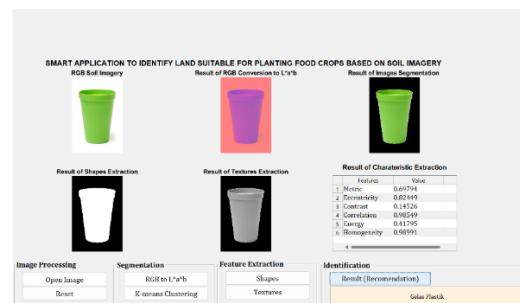
HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Input Data

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan tiga kategori data citra yaitu gelas plastic, gelas piala dan teko tanah liat. Data citra yang digunakan berjumlah

30 data dengan 10 data untuk 1 kategori yang terdiri dari 10 gelas plastic, 10 gelas piala dan 10 teko tanah liat. Data citra yang di gunakan dengan format JPEG. Seluruh dat acitra diambil dari sumber daring dan diolah menggunakan aplikasi matlab R2024a.

3.2. Pengujian



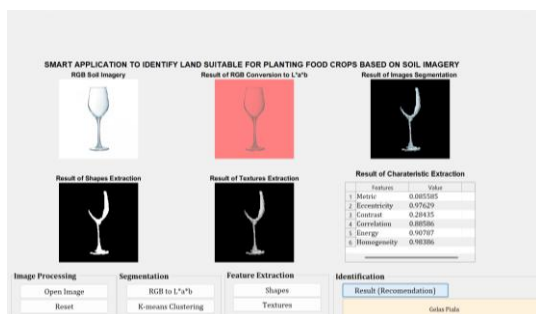
Gambar 2. Hasil k-means clustering pada gelas plastic

Gambar 2 menampilkan hasil segmentasi citra gelas plastik menggunakan algoritma K-Means Clustering. Warna pada citra terpisah menjadi beberapa kluster homogen berdasarkan kesamaan nilai warna pada ruang warna Lab*. Kluster utama menunjukkan bagian objek (gelas), sementara kluster lainnya menunjukkan latar belakang.

Tabel 1. Hasil Ekstraksi Karakteristik Gelas plastik

Kelas	Hasil Ekstraksi Karakteristik
	Gelas plastik
Metric	0.69794
Eccentricity	0.82449
Contrast	0.14526
Correlation	0.98549
Energy	0.41795
Homogeneity	0.98991

Tabel hasil ekstraksi fitur pada gelas plastik menunjukkan nilai Metric 0.69794 dan Eccentricity 0.82449, yang menandakan bentuk agak memanjang. Nilai Energy 0.41795 dan Homogeneity 0.98991 menunjukkan tekstur permukaan yang halus dan seragam, sesuai dengan karakteristik plastik yang rata dan tidak berpori.

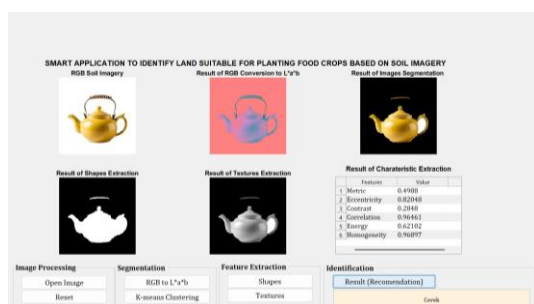


Gambar 3. Hasil k-means clustering pada gelas piala

Gambar 3 menampilkan hasil segmentasi citra gelas piala berbahan kaca. Nilai Metric 0.085585 menunjukkan bentuk yang lebih kompleks, sedangkan Eccentricity 0.97629 mengindikasikan bentuk cenderung lonjong. Nilai Energy 0.90787 dan Homogeneity 0.98386 menandakan bahwa permukaan kaca memiliki tekstur halus dan reflektif. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi K-Means dan GLCM efektif untuk mengidentifikasi karakteristik bahan transparan seperti kaca.

Tabel 2. Hasil Ekstraksi Karakteristik Gelas Piala

Hasil Ekstraksi Karakteristik	
Kelas	Gelas Piala
Metric	0.085585
Eccentricity	0.97629
Contrast	0.28435
Correlation	0.88586
Energy	0.90787
Homogeneity	0.98386



Gambar 4. Hasil k-means clustering pada cerek

Gambar 4 menunjukkan hasil segmentasi citra teko tanah liat. Nilai Metric 0.4988 dan Eccentricity 0.82048 menunjukkan bentuk yang cukup proporsional. Sementara itu, Contrast 0.2848 dan Energy 0.62102 mengindikasikan tekstur permukaan yang lebih kasar dan tidak seragam. Hal

ini sesuai dengan karakteristik material tanah liat yang berpori dan tidak memantulkan cahaya seperti kaca atau plastik.

Tabel 3. Hasil Ekstraksi Karakteristik Teko Tanah Liat

Hasil Ekstraksi Karakteristik	
Kelas	Teko Tanah Liat
Metric	0.4988
Eccentricity	0.82048
Contrast	0.2848
Correlation	0.96461
Energy	0.62102
Homogeneity	0.96897

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gabungan antara K-Means Clustering dan GCLM mampu melakukan klasifikasi citra berdasarkan bentuk dan material gelas secara detail. Pendekatan ini berbeda dengan penelitian terdahulu yang mana pada penelitian terdahulu, proses klasifikasi nya bersifat sederhana karena hanya memisahkan dua objek berbeda jenis, sedangkan penelitian ini menerapkan klasifikasi ganda yang mencakup bentuk dan material dengan bantuan fitur tekstur dari GCLM sehingga system yang dikembangkan lebih adaptif terhadap variasi citra dan mampu mengenali karakteristik material lebih akurat.

Beberapa kesalahan identifikasi (misclassification) ditemukan pada citra gelas plastik bening dan gelas kaca transparan. Kedua material tersebut memiliki kesamaan visual yang sangat tinggi, baik dari segi transparansi, kecerahan, maupun refleksi cahaya. kondisi pencahayaan tinggi, pantulan cahaya pada permukaan plastik menyerupai kaca, sehingga algoritma K-Means sulit memisahkan area berdasarkan warna. Demikian pula, pada tahap ekstraksi GLCM, nilai fitur kontras dan homogenitas keduanya menjadi hampir identik karena tekstur yang sama-sama halus. Kondisi ini menyebabkan beberapa citra plastik terklasifikasi sebagai kaca. Untuk mengurangi kesalahan tersebut, penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan pengaturan pencahayaan yang lebih seragam, penggunaan citra dengan latar belakang netral, atau menambahkan metode klasifikasi berbasis pembelajaran mesin seperti SVM atau CNN guna meningkatkan akurasi deteksi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa algoritma K-Means Clustering mampu melakukan proses segmentasi citra dengan baik dalam memisahkan objek utama (gelas) dari latar belakang. Proses segmentasi ini membantu dalam mengidentifikasi area yang relevan untuk dianalisis lebih lanjut.

Tahapan ekstraksi fitur menggunakan metode GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) juga terbukti efektif dalam mengambil ciri-ciri tekstur yang mewakili perbedaan antar material, seperti kaca, plastik, dan tanah liat. Kombinasi metode K-Means dan GLCM menghasilkan sistem yang mampu mengenali bentuk dan material gelas dengan tingkat ketepatan yang cukup tinggi.

Pada penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Jumlah dataset citra gelas yang digunakan dalam proses pengujian masih terbatas, sehingga variasi bentuk dan material yang dianalisis belum sepenuhnya mewakili keseluruhan jenis gelas yang ada di pasaran. Selain itu, kualitas gambar juga menjadi faktor yang memengaruhi hasil segmentasi dan ekstraksi fitur. Pencahayaan yang tidak merata, keberadaan bayangan, atau pantulan cahaya pada permukaan gelas dapat menyebabkan perbedaan nilai fitur tekstur dan menurunkan akurasi klasifikasi.

Penelitian ini memperkuat bukti bahwa algoritma K-Means dapat dioptimalkan untuk klasifikasi objek berbasis material. Pendekatan ini tidak hanya menegaskan kemampuan K-Means dalam segmentasi warna dan tekstur, tetapi juga memperluas aplikasinya dalam identifikasi material objek fisik melalui analisis citra digital.

Hasil penelitian ini memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan sistem klasifikasi otomatis berbasis pengolahan citra digital pada objek lain, terutama di bidang industri, manufaktur, dan penelitian ilmiah. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat diterapkan untuk mengenali jenis material, bentuk produk, maupun tekstur permukaan pada berbagai benda lain. Penelitian berikutnya dapat memanfaatkan algoritma lain seperti Random Forest, CNN (Convolutional Neural Network), atau SVM (Support Vector Machine) untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan klasifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam menyelesaikan skripsi ini, tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalam nya kepada Kedua orang tua tercinta, dosen pembimbing, rekan sejawat, serta

pihak-pihak terkait yang telah memberikan masukan berharga dalam perancangan metodologi, pengumpulan data, hingga analisis hasil penelitian. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang yang telah memberikan fasilitas dan dukungan penuh selama proses penelitian berlangsung. Akhir kata, semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat, memperkaya wawasan, serta menjadi sumbangsih berarti dalam pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang pengolahan citra digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ferdiana, A. D., & Anwar, S. N. (2023). *Pengembangan Chatbot untuk Informasi Wisata Interaktif di Tangerang Selatan menggunakan Framework Rasa*. Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Bisnis, 5(4), 476-483.
- [2] Maryuni, D., & Ramadhanu, A. (2025). Pemanfaatan K-Means untuk klasifikasi citra toge dan jamur enoki berdasarkan fitur bentuk dan tekstur. Jurnal Quancom, 3(1), 32-37. <https://doi.org/10.62375/jqc.v3i1.610>
- [3] Ramadani, S., & Ramadhono, A. (2025). Implementasi metode K-Means clustering untuk mengklsterikasikan kipas angin dengan teknik pengolahan citra. Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (JINTEKS), 7(1), 354-360.
- [4] Rifdaturrohiidah, N. (2019). Analisis tingkat pemahaman mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret tentang pentingnya minum air putih sebagai upaya pencegahan penyakit gagal ginjal. Universitas Sebelas Maret.
- [5] Saputra, R., Dila, R., & Ramadhanu, A. (2024). Klasifikasi timun segar dan busuk menggunakan K-Means clustering. Journal of Education Research, 5(4), 4799-4806.
- [6] Suwanda, A. E., & Juniati, D. (2022). Klasifikasi penyakit mata berdasarkan citra fundus retina menggunakan dimensi fraktal box counting dan fuzzy K-means. Jurnal Penelitian Matematika dan Pendidikan Matematika, 5(1), 10-18.
- [7] Windyastika, L., & Priyatmoko, H. (2020). Lidah pribumi bergoyang: *Rijsttafel* dan gaya hidup elite Jawa di Vorstenlanden 1900-1942. *Bandar Maulana: Jurnal Sejarah Kebudayaan*, 25(1), 15-30. <https://ejournal.uidalwa.ac.id/index.php/al-jadwa/article/download/1033/512>
- [8] Yasmin, N., Akbar, S. C. D., & Ramadhanu, A. (2024). Penerapan K-Means Clustering untuk Klasifikasi Citra Cabai Keriting: Studi Ekstraksi Warna dan Tekstur GLCM. Indonesian Journal Computer Science, 3(2), 65-71.
- [9] Zhang, Y., Guo, J., & Deng, Q. (2023). Identification of ancient glass products based on K-means composition analysis. Academic Journal of Materials & Chemistry, 4(3), 39-46. <https://doi.org/10.25236/AJMC.2023.040306>