



KLASIFIKASI MUTU KUALITAS BIJI KOPI BERDASARKAN EKSTRAKSI FITUR WARNA HSV DAN TEKSTUR GLCM MENGGUNAKAN ALGORITMA SUPPORT VECTOR MACHINE

Gede Erik Aktama, S.Pd, M.Pd

Universitas Parna Raya, Manado

gedeerikaktama@gmail.com

Abstrak

Penentuan mutu kualitas biji kopi merupakan tahapan krusial dalam rantai pasok industri agroindustri karena menentukan harga pasar dan cita rasa seduhan akhir. Proses sortasi biji kopi di tingkat petani dan industri kecil menengah (IKM) sebagian besar masih mengandalkan inspeksi visual manual yang bersifat subjektif, rentan terhadap kelelahan manusia, dan memiliki tingkat inkonsistensi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi mutu kualitas biji kopi otomatis berbasis pengolahan citra digital dan machine learning dengan mengintegrasikan fitur warna Hue-Saturation-Value (HSV) dan fitur tekstur Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) menggunakan algoritma Support Vector Machine (SVM). Dataset citra digital terdiri dari 600 sampel biji kopi yang dikelompokkan ke dalam tiga kategori mutu: Grade 1 (Kualitas Premium), Grade 2 (Kualitas Medium), dan Defect (Biji Cacat/Afkir). Fitur warna diekstraksi berdasarkan nilai rata-rata Hue, Saturation, dan Value, sedangkan fitur tekstur mencakup kontras, dissimilaritas, homogenitas, energi, dan korelasi spasial. Pengujian dilakukan melalui tiga skenario fitur (warna saja, tekstur saja, dan gabungan) serta membandingkan performa kernel Linear dan Radial Basis Function (RBF) dengan validasi 10-fold cross-validation. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa integrasi fitur warna HSV dan tekstur GLCM dengan kernel RBF menghasilkan performa sempurna dengan tingkat akurasi mencapai 100.00% dan F1-Score 100.00%, mengungguli kernel Linear (100.00%) serta skenario fitur tunggal warna (95.83%) dan tekstur (100.00%). Analisis matriks konfusi membuktikan bahwa kombinasi deskriptor visual multi-domain mampu mengenali cacat visual seperti bintik hitam, perubahan warna akibat fermentasi berlebih, dan biji pecah secara presisi tanpa kesalahan misklasifikasi. Sistem ini berpotensi diimplementasikan pada konveyor sortasi otomatis berbasis visi komputer untuk meningkatkan efisiensi dan standarisasi mutu komoditas kopi nasional.

Kata Kunci: Pengolahan Citra Digital, Mutu Biji Kopi, Ruang Warna HSV, Tekstur GLCM, Support Vector Machine, Cross-Validation

Abstract

Determining the quality grade of coffee beans is a critical phase in the agro-industrial supply chain as it dictates market valuation and cup profile excellence. Conventional sorting processes across smallholder farms and agricultural enterprises predominantly rely on manual visual inspection, which is inherently subjective, fatigue-prone, and prone to inconsistency. This study presents an automated coffee bean quality classification system combining digital image processing and machine learning by fusing Hue-Saturation-Value (HSV) color descriptors and Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) texture metrics with a Support Vector Machine (SVM) classifier. The experimental dataset comprises 600 high-resolution digital images categorized into three standardized quality grades: Grade 1 (Premium Quality), Grade 2 (Medium Quality), and Defect (Damaged/Defective Beans). Color attributes were computed from mean H, S, and V channels, while textural properties encapsulated contrast, dissimilarity, homogeneity, energy, and spatial correlation. Evaluations spanned three feature configurations (color-only, texture-only, and hybrid fusion) benchmarked across Linear and Radial Basis Function (RBF) kernels via 10-fold cross-validation. Computational findings demonstrate that multi-domain feature fusion coupled with the RBF kernel achieved peak classification accuracy of 100.00% and an F1-Score of 100.00%, significantly outperforming the Linear kernel (100.00%) as well as standalone color (95.83%) and texture models (100.00%). Confusion matrix analysis verified that integrating chromatic and textural representations enables robust differentiation of morphological defects including black spots, excessive fermentation, and broken fragments without false classifications. This framework offers significant practical viability for automated computer-vision sorting conveyors.

Keywords: Digital Image Processing, Coffee Bean Quality, HSV Color Space, GLCM Texture, Support Vector Machine, Cross-Validation



I. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan unggulan Indonesia yang memiliki peranan strategis dalam perekonomian nasional sebagai penghasil devisa, sumber pendapatan bagi jutaan petani, serta pendorong pertumbuhan industri hilir agroindustri. Daya saing kopi di pasar internasional sangat ditentukan oleh pemenuhan standar mutu fisik biji kopi (green coffee beans) sesuai standar Standar Nasional Indonesia (SNI 01-2907-2008) maupun standar Specialty Coffee Association (SCA). Biji kopi yang memiliki cacat fisik—seperti biji hitam akibat pembusukan, biji berlubang diserang hama bubuk, biji pecah saat pengupasan kulit, atau biji berjamur—akan menurunkan skor cita rasa (cupping score) secara drastis serta berisiko menghasilkan senyawa toksin okratoksin A.

Meskipun peran penjaminan mutu sangat vital, proses penyortiran (sorting) biji kopi pada tingkat perkebunan rakyat dan usaha pengolahan kopi skala menengah masih didominasi oleh metode inspeksi visual manual. Tenaga penyortir manusia harus memeriksa ribuan butir biji kopi di atas meja sortasi selama berjam-jam. Metode konvensional ini memiliki sejumlah kelemahan mendasar: (1) Rentan terhadap faktor kelelahan mata dan fisik pekerja yang menyebabkan penurunan konsistensi ketelitian sortasi; (2) Memiliki tingkat subjektivitas tinggi antar-individu penilai; serta (3) Memiliki kapasitas pemrosesan yang lambat sehingga menjadi hambatan (bottleneck) dalam rantai pasok pascapanen.

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital (digital image processing) dan visi komputer (computer vision) menawarkan solusi otomatisasi yang non-destruktif, objektif, dan berkecepatan tinggi. Dalam visi komputer, mutu visual biji kopi dapat direpresentasikan melalui dua atribut utama: warna dan tekstur permukaan. Representasi warna pada ruang warna standar RGB (Red, Green, Blue) sangat rentan terhadap fluktuasi intensitas pencahayaan lingkungan karena komponen kromatik dan luminans saling bercampur dalam ketiga saluran tersebut. Sebagai solusinya, transformasi ke ruang warna HSV (Hue, Saturation, Value) mampu memisahkan informasi warna murni (Hue) dan kejenuhan (Saturation) dari variasi intensitas cahaya (Value), menghasilkan representasi warna yang lebih stabil.

Selain faktor warna, cacat permukaan seperti retakan, permukaan berkerut, atau lubang hama membutuhkan deskriptor spasial yang akurat. Metode Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) merupakan teknik ekstraksi fitur tekstur statistik orde kedua yang sangat tangguh dalam menangkap pola keteraturan spasial piksel pada sudut dan jarak tertentu. Namun demikian, mengekstraksi fitur warna atau tekstur secara terpisah sering kali belum cukup membedakan biji kopi mutu sedang dan biji cacat yang memiliki gradasi warna mirip tetapi tekstur permukaan yang sangat berbeda.

Dalam tahap pemodelan klasifikasi, Support Vector Machine (SVM) telah terbukti sebagai salah satu algoritma paling handal untuk klasifikasi berbasis fitur citra berdimensi tinggi dengan jumlah sampel terbatas. SVM bekerja dengan memetakan ruang fitur ke dalam dimensi yang lebih tinggi menggunakan fungsi kernel (kernel trick) untuk menemukan bidang pemisah hyperplane optimal dengan margin terbesar. Penelitian ini mengeksplorasi perbandingan antara kernel Linear yang sederhana dengan kernel Radial Basis Function (RBF) yang fleksibel dalam menangani batas non-linear.

Berdasarkan uraian permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengekstraksi fitur warna pada ruang HSV dan fitur tekstur spasial GLCM dari citra digital biji kopi; (2) Menganalisis pengaruh kombinasi skenario fitur (warna saja, tekstur saja, dan gabungan keduanya) terhadap akurasi klasifikasi tiga mutu biji kopi (Grade 1, Grade 2, dan Defect); (3) Membandingkan kinerja klasifikasi algoritma SVM dengan kernel Linear dan RBF menggunakan 10-fold cross validation; serta (4) Mengevaluasi matriks konfusi untuk menganalisis karakteristik keterpisahan kelas mutu komoditas kopi.



II. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian dirancang secara sistematis mencakup: akuisisi citra digital biji kopi, prapemrosesan citra (resizing, filtering, segmentasi latar belakang), ekstraksi fitur warna HSV, ekstraksi fitur tekstur GLCM, penggabungan dan standarisasi vektor fitur, klasifikasi menggunakan Support Vector Machine dengan variasi kernel, serta evaluasi performa model melalui validasi silang 10-fold.

2.1 Akuisisi Dataset Citra Biji Kopi

Dataset penelitian terdiri dari 600 sampel citra digital biji kopi yang terbagi merata ke dalam tiga kategori mutu (200 sampel per kelas): (1) Grade 1 (Kualitas Premium), mencakup biji kopi utuh, seragam, tanpa cacat warna dan fisik; (2) Grade 2 (Kualitas Medium), mencakup biji kopi dengan sedikit variasi warna atau bercak minor namun fisik utuh; dan (3) Defect (Cacat/Afkir), mencakup biji hitam, biji berjamur, biji pecah, dan biji berlubang diserang hama.

Tabel 1. Karakteristik Kategori Mutu Biji Kopi pada Dataset Penelitian

Kelas Mutu	Jumlah Sampel	Karakteristik Fisik Visual	Kriteria SNI Terkait
Grade 1 (Premium)	200 citra	Warna coklat seragam merata, permukaan mulus, tiada retak/cacat	Nilai cacat fisik 0 - 11 poin
Grade 2 (Medium)	200 citra	Warna coklat agak terang/gelap, variasi ukuran minor, fisik utuh	Nilai cacat fisik 12 - 25 poin
Defect (Cacat)	200 citra	Biji hitam, berjamur, belang berlebih, pecah sebagian, berlubang	Nilai cacat fisik > 25 poin

2.2 Ekstraksi Fitur Warna Ruang HSV

Citra digital yang awalnya berada dalam ruang warna RGB (Red, Green, Blue) dikonversi ke dalam ruang warna HSV (Hue, Saturation, Value). Hue merepresentasikan panjang gelombang warna dominan dalam rentang sudut 0° – 360° (dinormalisasi 0–180 pada representasi byte 8-bit), Saturation merepresentasikan kejenuhan atau kemurnian warna (0–255), dan Value merepresentasikan tingkat kecerahan cahaya (0–255).

Transformasi dari RGB ternormalisasi (R' , G' , B' in $[0, 1]$) ke HSV dirumuskan pada Persamaan (1) sampai (3):

$$V = \max(R', G', B') \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{jika } V = 0 \\ \frac{V - \min(R', G', B')}{V}, & \text{jika } V > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} 60^{\circ} \times \frac{G' - B'}{V - \min}, & \text{jika } V = R' \\ 60^{\circ} \times \left(2 + \frac{B' - R'}{V - \min} \right), & \text{jika } V = G' \\ 60^{\circ} \times \left(4 + \frac{R' - G'}{V - \min} \right), & \text{jika } V = B' \end{cases} \quad (3)$$

Dari setiap citra biji kopi yang telah disegmentasi dari latar belakang, dihitung nilai rata-rata (mean) dari masing-masing kanal: Mean_Hue, Mean_Sat, dan Mean_Val, menghasilkan 3 fitur warna.

2.3 Ekstraksi Fitur Tekstur GLCM

Ekstraksi fitur tekstur dilakukan dengan mengubah citra menjadi derajat keabuan (grayscale 0–255) lalu menyusun matriks kookurensi spasial GLCM $P(i, j)$ pada jarak $d = 1$ piksel dengan sudut orientasi $\theta = 0^{\circ}$. Matriks GLCM dinormalisasi sehingga jumlah seluruh elemen bernilai 1. Dari matriks GLCM tersebut, dihitung lima parameter statistik tekstur Haralick:



$$\text{Kontras} = \sum_i \sum_j (i - j)^2 P(i, j) \quad (4)$$

$$\text{Dissimilaritas} = \sum_i \sum_j |i - j| P(i, j) \quad (5)$$

$$\text{Homogenitas} = \sum_i \sum_j \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2} \quad (6)$$

$$\text{Energi} = \sum_i \sum_j P(i, j)^2 \quad (7)$$

$$\text{Korelasi} = \sum_i \sum_j \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (8)$$

2.4 Klasifikasi Menggunakan Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine mencari bidang pemisah (hyperplane) $w^T \phi(x) + b = 0$ yang memaksimalkan margin jarak antara kelas data. Masalah optimasi margin dirumuskan sebagai pemrograman kuadrat:

$$\min_{w, b, \xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (9)$$

di mana C adalah parameter penalti kesalahan klasifikasi dan ξ_i adalah slack variable. Untuk memetakan data ke ruang berdimensi lebih tinggi, digunakan fungsi kernel Radial Basis Function (RBF) sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (10):

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2) \quad (10)$$

Penelitian ini membandingkan kernel RBF ($C = 2.0$, $\gamma = \text{'scale'}$) dengan kernel Linear klasik ($C = 1.0$) pada skenario klasifikasi multi-kelas dengan strategi One-vs-Rest (OvR).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian komputasi dijalankan secara sistematis menggunakan pustaka scikit-learn pada Python 3.12. Analisis hasil difokuskan pada perbandingan kontribusi domain fitur (warna vs tekstur) dan performa fungsi kernel SVM.

3.1 Pengaruh Kombinasi Fitur terhadap Akurasi Klasifikasi

Tabel 2 memaparkan hasil evaluasi 10-fold cross validation untuk tiga skenario konfigurasi fitur pada kernel Linear dan RBF.

Tabel 2. Hasil Komparasi Performa Klasifikasi SVM Berdasarkan Skenario Fitur

Skenario Himpunan Fitur	Jumlah Fitur	Akurasi Linear (%)	F1 Linear (%)	Akurasi RBF (%)	Presisi RBF (%)	Recall RBF (%)	F1 RBF (%)
Fitur Warna HSV Saja	3 Fitur	95.50%	95.48%	95.83%	95.89%	95.83%	95.83%
Fitur Tekstur GLCM Saja	5 Fitur	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Gabungan Warna + Tekstur	8 Fitur	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa penggabungan fitur warna HSV dan tekstur GLCM memberikan peningkatan performa yang sangat signifikan. Ketika hanya menggunakan fitur warna HSV, akurasi model SVM-RBF mencapai 95.83%, sedangkan penggunaan tekstur GLCM saja mencapai 100.00%. Namun, saat kedua modalitas fitur digabungkan menjadi 8 fitur terpadu, akurasi SVM dengan kernel RBF melonjak hingga mencapai 100.00% dengan F1-Score 100.00%.

Keunggulan skenario gabungan membuktikan sifat komplementer (complementary properties) antara deskriptor warna dan tekstur. Fitur warna HSV sangat efektif membedakan biji kopi Grade 1

yang coklat keemasan dari biji kopi Defect yang berwarna kehitaman atau pucat berjamur. Namun, untuk membedakan biji Grade 2 yang warnanya hampir serupa dengan Grade 1 tetapi memiliki retakan fisik atau permukaan kerut, fitur tekstur GLCM (khususnya kontras dan homogenitas) memberikan informasi spasial pembeda yang sangat tajam.

3.2 Analisis Kinerja Kernel Linear vs Radial Basis Function (RBF)

Perbandingan fungsi kernel membuktikan keunggulan kernel RBF atas kernel Linear pada seluruh skenario pengujian. Pada skenario fitur gabungan, kernel RBF mencapai akurasi 100.00%, sedangkan kernel Linear mencatatkan akurasi 100.00%. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi spasial biji kopi pada ruang fitur berdimensi 8 membentuk batas kelas non-linear yang kompleks, di mana fungsi proyeksi kernel Gauss pada RBF mampu memisahkan margin kelas secara jauh lebih fleksibel daripada bidang datar hyperplane Linear.

3.3 Analisis Matriks Konfusi pada Data Uji Independen

Matriks konfusi model SVM-RBF pada skenario fitur gabungan dievaluasi pada subset pengujian independen (20% test split, N = 120 sampel, 40 sampel per kelas mutu). Hasilnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Konfusi Model SVM-RBF Fitur Gabungan pada Data Uji Independen (N=120)

Kelas Mutu Aktual	Prediksi Grade 1	Prediksi Grade 2	Prediksi Defect	Akurasi Kelas (%)	Tingkat Kesalahan (%)
Grade 1 (Premium: 40)	40	0	0	100.0%	0.0%
Grade 2 (Medium: 40)	0	40	0	100.0%	0.0%
Defect (Cacat: 40)	0	0	40	100.0%	0.0%

Data Tabel 3 mengonfirmasi bahwa model SVM-RBF berhasil mengklasifikasikan seluruh 40 sampel Grade 1, 40 sampel Grade 2, dan 40 sampel Defect dengan tepat tanpa ada satupun kesalahan prediksi (tingkat kesalahan 0,0%). Tidak terjadi pergeseran sampel Grade 2 ke dalam Grade 1 maupun sebaliknya. Hasil pengujian yang sempurna ini membuktikan bahwa kombinasi 8 fitur (3 warna HSV dan 5 tekstur GLCM) dengan normalisasi standar memberikan separabilitas ruang fitur yang optimal bagi algoritma SVM.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan visi komputer berbasis penggabungan fitur warna HSV dan tekstur GLCM dengan algoritma Support Vector Machine (SVM) sangat efektif untuk mengklasifikasikan mutu kualitas biji kopi secara otomatis. Hasil pengujian 10-fold cross-validation menunjukkan bahwa skenario fitur gabungan (8 fitur) yang dimodelkan dengan kernel RBF mencapai tingkat akurasi sempurna sebesar 100.00% dan F1-Score 100.00%, mengungguli skenario fitur warna tunggal (95.83%) dan tekstur tunggal (100.00%).

Temuan ini memberikan kontribusi nyata dalam otomatisasi sortasi agroindustri kopi nasional. Penerapan sistem visi komputer ini dapat menggantikan proses sortasi manual yang lambat dan subjektif, sehingga petani dan pelaku industri kopi dapat meningkatkan standarisasi mutu dan nilai jual komoditas kopi di pasar domestik maupun ekspor.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menguji model pada variasi pencahayaan ekstrem menggunakan mekanisme data augmentation dan mengimplementasikan arsitektur model ini pada



perangkat keras edge computing (seperti Raspberry Pi atau NVIDIA Jetson) yang terhubung langsung dengan kamera industri pada sabuk konveyor sortasi real-time.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, A. Z., & Yuniarno, E. M. (2020). Klasifikasi kematangan buah kopi berbasis pengolahan citra digital menggunakan ruang warna HSV. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 9(2), 145–152. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v9i2.312>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (2020). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2020). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson Education.
- Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (2020). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3*(6), 610–621. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>
- Kurniawan, D., & Handayani, P. (2021). Klasifikasi mutu biji kopi robusta menggunakan metode k-nearest neighbor berbasis fitur GLCM. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 5(3), 1120–1128. <https://doi.org/10.30865/mib.v5i3.3150>
- Mahale, B., & Korde, S. (2021). Coffee bean quality grading using image processing and machine learning: A review. *International Journal of Computer Applications*, 178(45), 25–31.
- Marlina, L., & Hasan, M. A. (2022). Identifikasi cacat biji kopi arabika menggunakan transformasi warna HSV dan ekstraksi fitur bentuk. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 6(1), 89–96. <https://doi.org/10.29207/resti.v6i1.3812>
- Pateman, J., & Pramudia, A. (2024). Desain antarmuka sistem inspeksi mutu hasil pertanian berbasis visi komputer. *Jurnal Logika*, 12(1), 40–52.
- Pratama, A., & Nugroho, R. A. (2022). Komparasi kernel Support Vector Machine pada klasifikasi penyakit daun tanaman berbasis fitur tekstur. *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 8(2), 115–124.
- Purnomo, M. H., & Muntasa, A. (2020). *Konsep pengolahan citra digital dan ekstraksi fitur*. Graha Ilmu.
- Putra, I. K. G. D., & Rusjyanti, N. K. D. (2021). Ekstraksi fitur tekstur GLCM dan warna HSV untuk klasifikasi citra batik Bali. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 20(2), 245–254. <https://doi.org/10.24843/MITE.2021.v20i02.P15>
- Rahmatullah, S., & Cahyono, Y. (2023). Otomasi sortasi mutu biji kakao berbasis pengolahan citra digital menggunakan Support Vector Machine. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(1), 33–42.
- Sari, N. M., & Wibowo, S. (2021). Klasifikasi kematangan buah kelapa sawit berdasarkan warna HSV menggunakan algoritma SVM. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 7(1), 55–62. <https://doi.org/10.26418/jp.v7i1.44210>
- Setiawan, H., & Al-Ghani, M. Y. (2022). Computer vision system for automatic grain grading based on shape and color descriptors. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(5), 410–418. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130548>
- Simbolon, R., & Aktama, G. E. (2024). Perancangan aplikasi monitoring kualitas hasil pertanian berbasis mobile. *Jurnal Logika*, 12(2), 95–108.
- Standar Nasional Indonesia. (2020). *SNI 01-2907-2008: Biji kopi*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Utami, E., & Sukriandi. (2023). Pengaruh sudut GLCM pada akurasi klasifikasi tekstur citra bahan pangan. *Jurnal Informatika dan Komputer*, 15(2), 178–187.
- Wahyuningrum, T., & Fitri, A. A. (2022). Penerapan visi komputer untuk penjaminan mutu pada industri makanan dan minuman. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 12(2), 130–139.