

ESTIMASI BERAT DAN VOLUME SERTA IDENTIFIKASI KEMATANGAN BUAH PINANG BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL

Diana Pebriani Daulay^{1*)}, Anna Anggraini²⁾, Igef Rasinta³⁾, Rido Saputra⁴⁾, Fatkhul Rohman⁵⁾, Melvi Viyona⁶⁾, Latifa Aini⁷⁾

^{1,3,4,5,6}Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi, I. Raya Jambi - Muara Bulian KM. 15, Mendalo Darat, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi.

^{2,7}Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi, I. Raya Jambi - Muara Bulian KM. 15, Mendalo Darat, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi.

email: email: dianapebrianidly@unja.ac.id^{1*}, anna.anggraini@unja.ac.id², igef.rasinta@unja.ac.id³, ridosaputra96@unja.ac.id⁴, fatkhulrohman@unja.ac.id⁵, melvi.viyona@unja.ac.id⁶, latifaaini@unja.ac.id⁷.

Abstract

This study developed a digital image processing system to estimate weight and volume while identifying the ripeness of areca fruit (Areca catechu L.) as an objective, rapid, and non-destructive postharvest evaluation method. A total of 180 fruit samples (90 unripe and 90 ripe) were acquired using a DSLR camera against a white background and processed in MATLAB. Image processing involved RGB-to-grayscale conversion, contrast enhancement, Sobel edge detection, morphological operations, and feature extraction. Geometric attributes were extracted for weight and volume modeling, while CIELAB color parameters were used to determine ripeness. Ripe fruits exhibited higher L^ (40.18 ± 5.07) and b^* (43.28 ± 7.26) values than unripe fruits (32.45 ± 2.15 and 25.16 ± 1.47 , respectively). Unripe fruits had lower a^* values (-6.12 ± 0.57), indicating stronger greenness. Weight estimation models achieved high precision, reaching 98.70% accuracy for unripe fruits and 98.55% for ripe fruits. Volume estimation also demonstrated high performance, yielding 99.11% accuracy for unripe fruits and 96.66% for ripe fruits. Integrating color and geometric features enables simultaneous and accurate estimation of physical properties and ripeness classification, providing a reliable tool for automated postharvest processing.*

Keywords: Areca fruit, Digital image processing, Ripeness identification, Volume estimation, Weight estimation

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan sistem pengolahan citra digital untuk mengestimasi berat dan volume serta mengidentifikasi tingkat kematangan buah pinang (*Areca catechu* L.) sebagai metode evaluasi pascapanen yang objektif, cepat, dan tidak merusak. Sebanyak 180 sampel buah pinang (90 buah mentah dan 90 buah matang) diperoleh menggunakan kamera DSLR dengan latar belakang putih dan diproses menggunakan MATLAB. Tahapan pengolahan citra meliputi konversi RGB ke skala keabuan, peningkatan kontras, deteksi tepi Sobel, operasi morfologi, serta ekstraksi fitur. Karakteristik geometris digunakan untuk pemodelan estimasi berat dan volume, sedangkan parameter warna CIELAB digunakan untuk menentukan tingkat kematangan buah. Buah matang menunjukkan nilai L^* ($40,18 \pm 5,07$) dan b^* ($43,28 \pm 7,26$) yang lebih tinggi dibandingkan buah mentah ($32,45 \pm 2,15$ dan $25,16 \pm 1,47$). Buah mentah memiliki nilai a^* yang lebih rendah ($-6,12 \pm 0,57$), yang menunjukkan dominasi warna hijau yang lebih kuat. Model estimasi berat menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi, yaitu mencapai 98,70% pada buah mentah dan 98,55% pada buah matang. Estimasi volume juga menunjukkan performa yang baik dengan akurasi 99,11% pada buah mentah dan 96,66% pada buah matang. Integrasi fitur warna dan geometris memungkinkan proses estimasi sifat fisik serta klasifikasi kematangan dilakukan secara bersamaan dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga dapat menjadi solusi pendukung untuk otomatisasi proses pascapanen buah pinang.

Kata Kunci: Buah Pinang, Pengolahan Citra Digital, Identifikasi Tingkat Kematangan, Estimasi Volume, Estimasi Berat

<https://doi.org/10.35145/joisie.v10i1.5950>

JOISIE licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Pinang merupakan komoditas perkebunan bernilai ekonomi yang memerlukan penanganan mutu sejak panen hingga pascapanen. Di Provinsi Jambi, perbaikan penanganan pascapanen Pinang Betara terus didorong melalui penerapan prosedur yang lebih terstandar agar mutu biji tetap terjaga dan nilai tambah produk meningkat (Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian Jambi, 2023). Tingkat kematangan menjadi salah satu parameter penting karena berhubungan dengan karakteristik visual, sifat fisik, dan mutu bahan baku untuk pengolahan selanjutnya.

Proses pematangan buah pinang diikuti oleh perubahan warna kulit, ukuran, morfologi, serta komposisi senyawa bioaktif. Ding et al. (2023) menunjukkan adanya variasi sifat bentuk buah selama perkembangan, sedangkan Rangani et al. (2023) melaporkan perbedaan kandungan fenolik, aktivitas antioksidan, dan alkaloid antara buah matang dan belum matang. Perbedaan visual tersebut juga menjadi dasar pengelompokan kelas kematangan dalam sistem berbasis citra (Sarimole & Rosiana, 2022; Tukan et al., 2025). Klasifikasi yang konsisten diperlukan agar bahan baku dapat diproses sesuai tingkat kematangannya.

Penentuan tingkat kematangan buah pinang di lapangan masih sering dilakukan melalui pengamatan visual terhadap warna dan ukuran. Cara ini mudah diterapkan, tetapi hasilnya dapat dipengaruhi oleh subjektivitas dan pengalaman pengamat (Sarimole & Rosiana, 2022; Tukan et al., 2025). Pengolahan citra digital dapat digunakan untuk memperoleh karakteristik warna, bentuk, luas proyeksi, dan dimensi objek secara terukur. Pendekatan ini mendukung evaluasi yang objektif dan cepat tanpa merusak sampel (Dhanesha et al., 2023; Fitriyah, 2022).

Pengolahan citra dan pembelajaran mesin telah diterapkan pada berbagai komoditas pertanian untuk membantu identifikasi dan klasifikasi otomatis. Chan et al. (2024) menggunakan pemrosesan citra untuk meningkatkan identifikasi jenis pisang, sedangkan Yanto et al. (2024) menunjukkan bahwa arsitektur DenseNet-121 dan augmentasi data dapat menghasilkan kinerja klasifikasi yang tinggi pada citra penyakit tanaman padi. Pada buah pinang, penelitian terkini memanfaatkan fitur HSV, RGB, tekstur, *K-Nearest Neighbor* (KNN), *random forest*, dan *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk membedakan tingkat kematangan (Dhanesha et al., 2023; Sarimole & Rosiana, 2022; Tukan et al., 2025; Umesha et al., 2024). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih menempatkan warna sebagai parameter utama, sehingga hasil identifikasi dapat dipengaruhi oleh pencahayaan, kualitas kamera, posisi objek, dan variasi alami warna buah.

Selain perubahan warna, pematangan buah pinang juga berkaitan dengan perubahan ukuran, berat, volume, dan morfologi. Ding et al. (2023) melaporkan variasi karakter bentuk buah pinang selama perkembangan. Dalam pengukuran berbasis citra, diameter, luas proyeksi, dan perimeter objek dapat diekstraksi dari citra biner untuk menyusun model estimasi berat dan volume (Fitriyah, 2022). Pendekatan yang lebih mutakhir juga memadukan segmentasi objek dengan sumbu utama dan informasi kedalaman untuk memperkirakan volume buah tanpa merusak objek (Zhang et al., 2026). Dengan demikian, fitur geometrik berpotensi melengkapi fitur warna dalam penilaian kematangan dan sifat fisik buah.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian terdahulu pada umumnya hanya memanfaatkan fitur warna dan algoritma klasifikasi untuk menentukan tingkat kematangan buah pinang, sedangkan pemanfaatan parameter fisik berupa berat dan volume yang diestimasi melalui pengolahan citra digital masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan estimasi berat, estimasi volume, dan identifikasi kematangan buah pinang dalam satu sistem pengolahan citra digital belum banyak dilaporkan.

Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem estimasi berat dan volume serta identifikasi kematangan buah pinang berbasis pengolahan citra digital. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan karakteristik geometrik objek untuk mengestimasi berat dan volume buah serta karakteristik warna $L^*a^*b^*$ untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah pinang. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi estimasi berat, estimasi volume, dan identifikasi kematangan secara simultan dalam satu sistem pengolahan citra digital tanpa merusak sampel. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan metode yang lebih cepat, objektif, dan akurat sebagai alternatif teknologi sortasi pascapanen buah pinang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian berbasis citra pada buah pinang telah menggunakan fitur HSV dan KNN, kombinasi fitur warna dan tekstur dengan *random forest*, serta CNN untuk mengidentifikasi tingkat kematangan (Dhanesha et al., 2023; Sarimole & Rosiana, 2022; Tukan et al., 2025; Umesha et al., 2024). Untuk estimasi sifat fisik buah, Fitriyah (2022) menunjukkan bahwa diameter, luas proyeksi, dan perimeter dari citra biner dapat digunakan sebagai peubah model regresi berat dan volume. Segmentasi untuk memisahkan objek dari latar belakang merupakan tahap penting sebelum ekstraksi fitur dan pembentukan model prediksi.

2.1 Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 180 buah pinang yang diperoleh dari 100 pohon pada perkebunan petani di Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi. Sampel terdiri atas 90 buah pinang mentah dan 90 buah pinang matang. Kategori kematangan ditetapkan berdasarkan karakteristik visual kulit buah, yaitu dominan hijau untuk kelas mentah dan hijau kekuningan untuk kelas matang, sejalan dengan pendekatan klasifikasi kematangan pinang berbasis citra (Sarimole & Rosiana, 2022; Tukan et al., 2025). Sampel dipilih menggunakan metode *purposive sampling* dengan mempertimbangkan keseragaman varietas, kondisi fisik, dan keterwakilan tingkat kematangan. Buah yang digunakan berbentuk normal serta tidak cacat, pecah, atau busuk. Sebanyak 30 sampel dari setiap tingkat kematangan digunakan untuk membangun model, sedangkan 60 sampel dari setiap tingkat kematangan digunakan untuk pengujian.

2.2 Pengambilan Citra Objek

Sebelum pengambilan citra, buah pinang dibersihkan untuk menghilangkan kotoran atau sisa bahan yang menempel pada permukaan kulit. Citra diambil di dalam kotak tertutup pada posisi mendatar dengan jarak kamera 25 cm dari objek dan latar belakang putih untuk memperoleh kontras yang konsisten. Pengaturan jarak, pencahayaan, dan latar belakang yang tetap digunakan untuk mengurangi variasi selama akuisisi citra (Fitriyah, 2022). Kamera yang digunakan adalah DSLR Canon EOS 1200D dengan resolusi 6000×4000 piksel (24 MP), sedangkan citra yang dianalisis berukuran 1920×1280 piksel dalam format JPEG/PNG. Setiap sampel diambil citranya sebanyak tiga kali.

2.3 Pengukuran Berat dan Volume Manual

a. Pengukuran Bobot

Pengukuran bobot dilakukan pada 90 sampel menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g.

b. Pengukuran Volume

Volume aktual buah diukur menggunakan metode perpindahan air (*water displacement*), yaitu selisih volume air setelah dan sebelum buah dicelupkan. Pengukuran ini digunakan sebagai nilai acuan untuk membandingkan hasil estimasi volume berbasis citra (Fitriyah, 2022).

$$\text{Volume buah} = V_1 - V_0$$

Keterangan:

V_1 = tinggi muka air sesudah buah dicelupkan

V_0 = tinggi muka air sebelum buah dicelupkan

2.4 Pengolahan Data Citra

Pengolahan data citra meliputi pengoperasian MATLAB, segmentasi citra, ekstraksi fitur, prediksi diameter, bobot, dan kematangan berdasarkan warna buah pinang, validasi model, serta klasifikasi otomatis menggunakan komputer untuk menghasilkan keluaran penelitian.

2.4.1 Segmentasi Citra

Kualitas deteksi tepi dipengaruhi oleh derau (*noise*), tingkat kontras, dan perubahan intensitas pada batas objek. Oleh karena itu, tahap pra-proses perlu dilakukan sebelum penerapan operator deteksi tepi. Operator Sobel bekerja berdasarkan perubahan gradien intensitas untuk menegaskan batas objek

dan dapat menghasilkan tepi yang jelas pada citra dengan kontras memadai (Qisthiano & Pratiwi, 2025; Seneng et al., 2024).

Pada tahap segmentasi, operator Sobel diterapkan untuk memisahkan objek dari latar belakang. Proses dimulai dengan konversi citra RGB menjadi *grayscale*, dilanjutkan dengan peningkatan kontras menggunakan *image adjustment*, deteksi tepi Sobel, dan operasi morfologi. Dilasi digunakan untuk mempertebal tepi, *hole filling* untuk mengisi area kosong, dan *opening* untuk mengurangi derau. Citra biner hasil proses ini merepresentasikan objek pinang untuk tahap ekstraksi fitur.

2.4.2 Ekstraksi Citra

Ekstraksi fitur citra merupakan proses pengambilan atribut objek untuk keperluan identifikasi dan klasifikasi. Fitur yang diekstraksi meliputi bentuk (diameter terpanjang) dan warna (R, G, B, L^* , a^* , b^*). Nilai dihitung dari piksel di dalam masker hasil segmentasi sehingga latar belakang tidak ikut dianalisis. Jika terdapat lebih dari satu wilayah, objek utama dipilih berdasarkan area terbesar. Konversi RGB ke CIELAB dilakukan menggunakan fungsi MATLAB, kemudian nilai rata-rata setiap komponen warna dihitung dari seluruh piksel pada masker objek dan digunakan sebagai parameter klasifikasi tingkat kematangan.

2.4.3 Penentuan Sumbu Mayor dan Minor

Sumbu mayor dan sumbu minor ditentukan dari geometri objek hasil segmentasi. Sumbu mayor merepresentasikan dimensi terpanjang objek, sedangkan sumbu minor merupakan dimensi terpendek yang tegak lurus terhadap sumbu mayor. Pengukuran dimensi geometrik dari citra biner, termasuk diameter, luas proyeksi, dan perimeter, dapat digunakan sebagai fitur dalam model estimasi sifat fisik buah (Fitriyah, 2022).

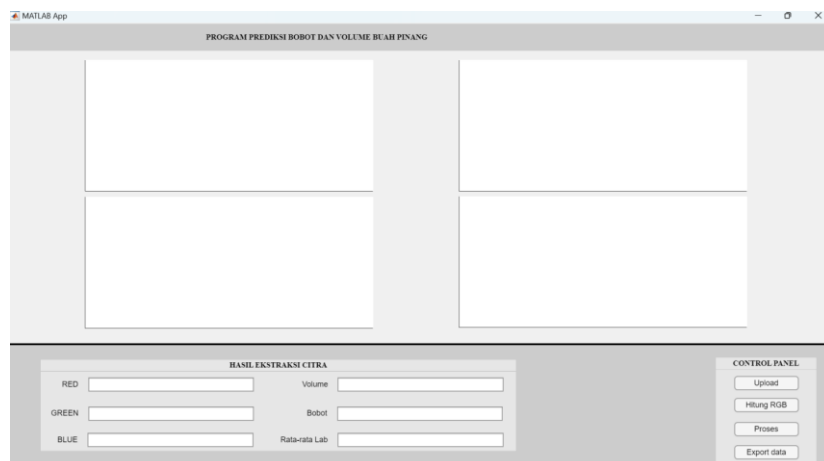
2.4.4 Prediksi Berat dan Volume Menggunakan Pengolahan Citra

Berat dan volume buah pinang diprediksi dari fitur geometrik citra setelah objek melalui proses segmentasi. Data jumlah piksel, dimensi objek, berat aktual, dan volume aktual digunakan untuk menyusun persamaan regresi yang menggambarkan hubungan antara fitur citra dan pengukuran manual. Model yang terbentuk selanjutnya digunakan untuk memperkirakan berat dan volume sampel uji. Pendekatan regresi berbasis diameter, luas proyeksi, dan perimeter telah digunakan untuk estimasi sifat fisik buah tanpa kontak (Fitriyah, 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

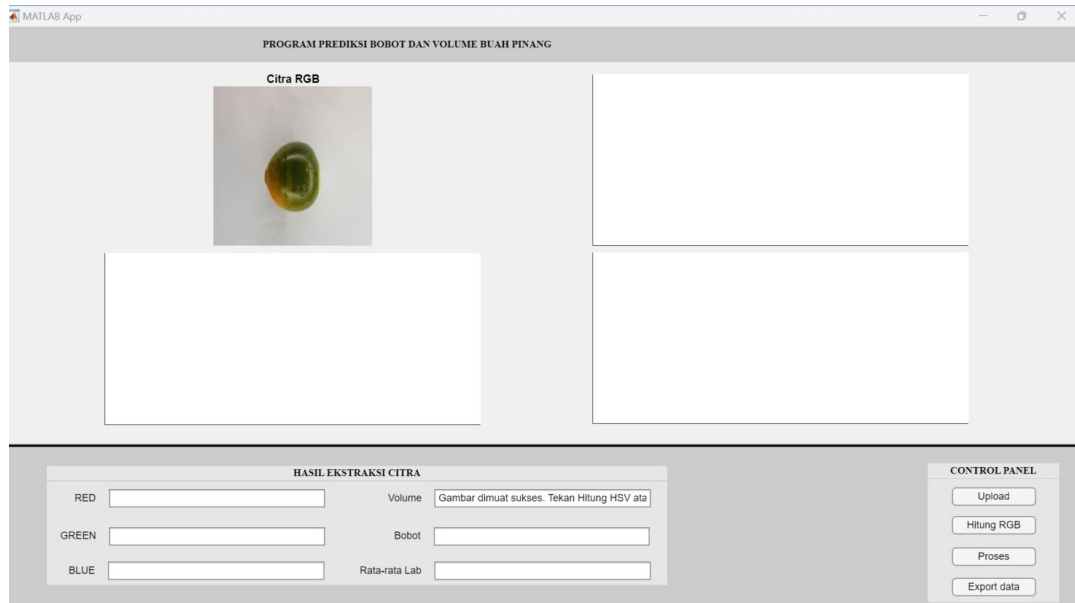
3.1 Tampilan Aplikasi Pengolahan Citra Digital

Program yang dikembangkan menggunakan MATLAB R2021a untuk memperkirakan berat dan volume buah pinang. Program ini menyediakan fitur pemrosesan citra, seperti teknik ambang batas (*thresholding*), untuk memisahkan latar belakang dari objek serta menghasilkan keluaran berupa estimasi berat, volume, dan tingkat kematangan berdasarkan warna buah. Tampilan awal program disajikan pada Gambar 1.



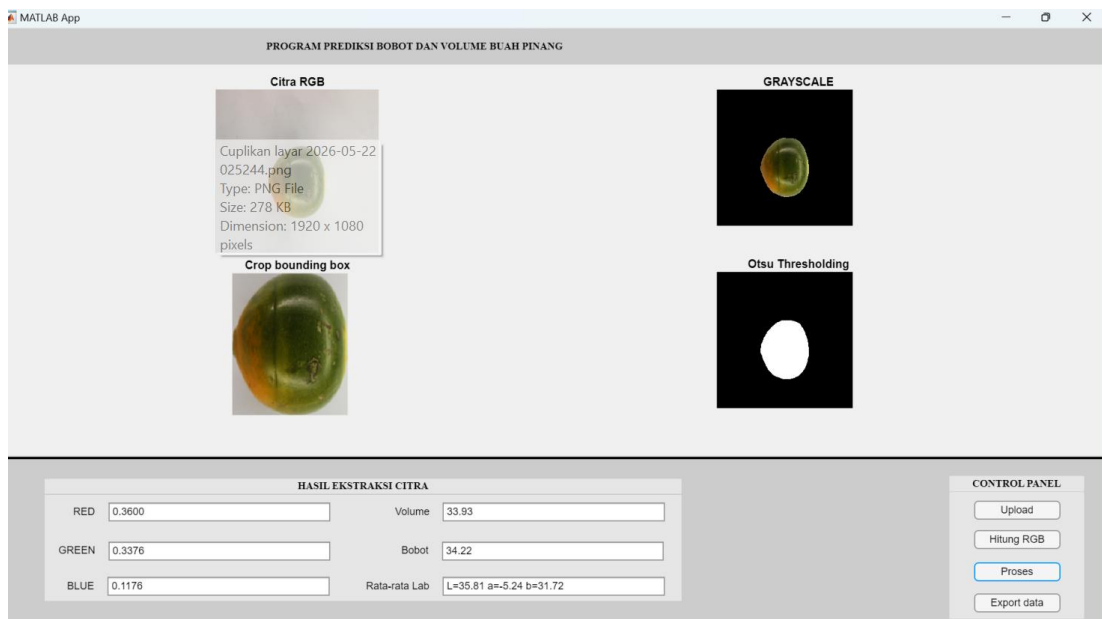
Gambar 1. Tampilan awal program pengolahan citra

Layar awal program menampilkan menu utama: Beranda (halaman utama), Unggah (untuk foto yang akan diproses), Hitung RGB (nilai merah, hijau, dan biru sebelum pemrosesan), Proses (segmentasi dan ekstraksi), serta Ekspor Data (ke Excel). Petunjuk penggunaan: klik Unggah, pilih *File Explorer*, pilih berkas berformat JPG, lalu klik Buka untuk menampilkan gambar yang akan dianalisis. Tampilan objek pada proses pengolahan citra digital disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan objek pada proses pengolahan citra digital

Langkah selanjutnya adalah proses ambang batas (*thresholding*) untuk mengubah citra menjadi citra biner hitam-putih. Hasil tahap ini meliputi citra skala abu-abu (*grayscale*), masker objek, dan citra deteksi tepi Sobel. Proses ambang batas digunakan untuk memisahkan objek dari latar belakang berdasarkan perbedaan intensitas piksel (Cahyadi et al., 2022).



Gambar 3. Tampilan hasil proses pengolahan citra digital

3.2 Rentang Warna $L^*a^*b^*$

Hasil penelitian ini menunjukkan dua tingkat kematangan. Nilai $L^*a^*b^*$ citra buah pinang disajikan pada Tabel 2.

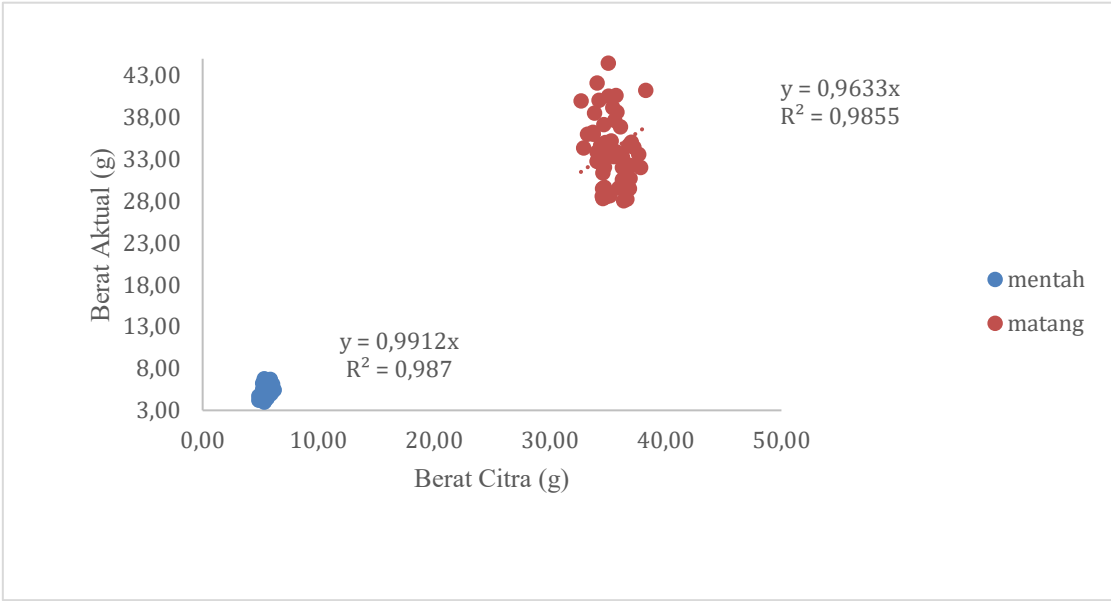
Tabel 2. Nilai L*a*b* citra buah pinang

No	Kategori	Nilai L*	Nilai a*	Nilai b*
1	Mentah	32,45 ± 2,15	-6,12 ± 0,57	25,16 ± 1,47
2	Matang	40,18 ± 5,07	-0,38 ± 5,87	43,28 ± 7,26

Keterangan: L* = kecerahan (*lightness*); a* = sumbu hijau-merah; b* = sumbu biru-kuning.

Data pada Tabel 2 merupakan nilai rata-rata dari 60 sampel pengujian pada setiap tingkat kematangan. Dalam ruang warna CIELAB, L* menyatakan kecerahan, a* merepresentasikan sumbu hijau-merah, dan b* merepresentasikan sumbu biru-kuning. Nilai a* negatif menunjukkan kecenderungan hijau, sedangkan nilai b* positif menunjukkan kecenderungan kuning. Buah matang memiliki nilai L* (40,18 ± 5,07) dan b* (43,28 ± 7,26) lebih tinggi dibandingkan buah mentah, sedangkan buah mentah memiliki nilai a* lebih rendah (-6,12 ± 0,57) dan b* sebesar 25,16 ± 1,47. Pola tersebut menunjukkan dominasi hijau pada buah mentah dan pergeseran ke arah kuning pada buah matang, konsisten dengan penggunaan fitur warna dalam klasifikasi kematangan pinang (Sarimole & Rosiana, 2022; Tukan et al., 2025; Umesha et al., 2024).

3.3 Hubungan Pengukuran Berat Pinang secara Manual dengan Hasil Pengolahan Citra Digital
Grafik hubungan berat aktual dan berat hasil estimasi citra disajikan pada Gambar 4.

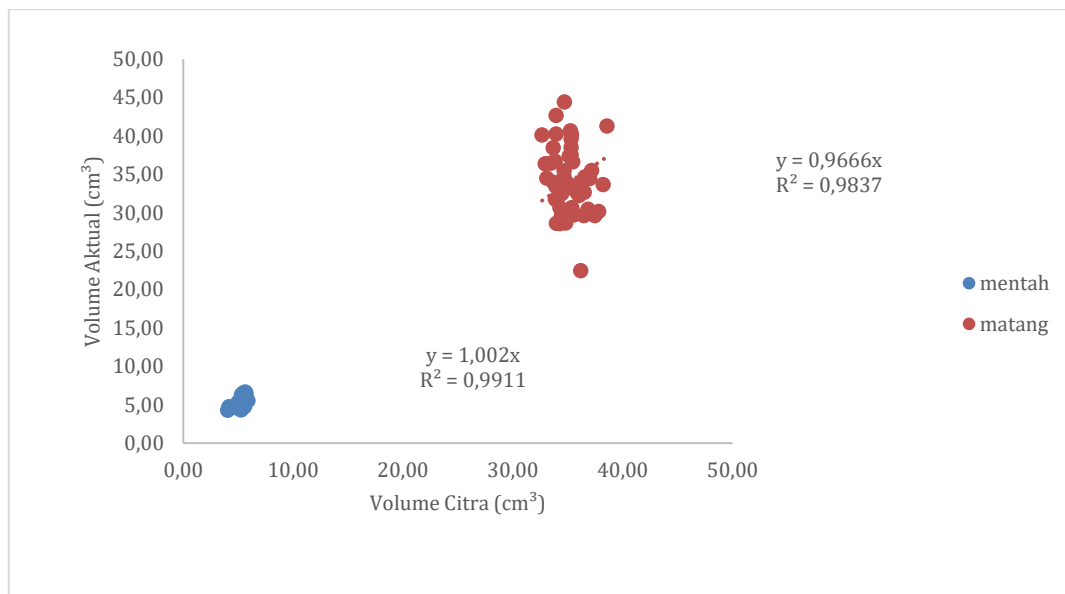


Gambar 4. Grafik hubungan berat aktual dan berat hasil estimasi citra

Pengukuran menunjukkan bahwa berat buah pinang matang lebih besar dibandingkan buah pinang mentah. Gambar 4 memperlihatkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9855 untuk buah matang dan 0,9870 untuk buah mentah, dengan koefisien korelasi masing-masing 0,9927 dan 0,9934. Nilai tersebut menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat antara berat aktual dan berat hasil estimasi citra. Persamaan linear juga memperlihatkan bahwa peningkatan berat aktual diikuti oleh peningkatan berat estimasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Fitriyah (2022), yang menunjukkan bahwa fitur geometrik dari citra biner dapat digunakan untuk menyusun model estimasi berat buah tanpa kontak.

3.4 Hubungan Pengukuran Volume Pinang secara Manual dengan Hasil Pengolahan Citra Digital

Grafik hubungan volume aktual dan volume hasil estimasi citra disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan volume aktual dan volume hasil estimasi citra

Pengukuran menunjukkan bahwa volume buah pinang matang lebih besar dibandingkan buah pinang mentah. Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara volume aktual dan volume hasil estimasi citra dengan nilai R^2 sebesar 0,9911 pada buah mentah dan 0,9666 pada buah matang. Koefisien korelasi masing-masing sebesar 0,9955 dan 0,9832, sehingga kedua kelompok menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat dan hasil estimasi mendekati pengukuran aktual. Temuan ini mendukung penggunaan fitur geometrik citra untuk mengestimasi volume buah sebagaimana dilaporkan oleh Fitriyah (2022) dan dikembangkan lebih lanjut melalui pendekatan segmentasi serta sumbu utama oleh Zhang et al. (2026).

4. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengolahan citra digital dapat digunakan sebagai metode tanpa merusak sampel untuk mengestimasi berat dan volume serta mengidentifikasi tingkat kematangan buah pinang. Karakteristik warna pada ruang warna CIELAB menunjukkan perbedaan yang jelas antara buah mentah dan matang. Buah matang memiliki nilai L^* dan b^* yang lebih tinggi, masing-masing sebesar $40,18 \pm 5,07$ dan $43,28 \pm 7,26$, dibandingkan buah mentah yang memiliki nilai L^* sebesar $32,45 \pm 2,15$ dan b^* sebesar $25,16 \pm 1,47$. Sebaliknya, nilai a^* buah mentah yang lebih rendah ($-6,12 \pm 0,57$) mengindikasikan dominasi warna hijau sebagai ciri tingkat kematangan yang lebih rendah.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa estimasi berat berbasis citra memiliki hubungan yang sangat kuat dengan pengukuran aktual, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9870 pada buah mentah dan 0,9855 pada buah matang. Estimasi volume menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan nilai R^2 sebesar 0,9911 pada buah mentah dan 0,9666 pada buah matang. Secara keseluruhan, hasil penelitian mengonfirmasi bahwa integrasi fitur geometrik dan warna dalam sistem pengolahan citra digital berpotensi menjadi pendekatan yang akurat, objektif, dan efisien untuk mendukung proses sortasi dan penilaian mutu buah pinang pada tahap pascapanen.

5. DAFTAR PUSTAKA

Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian Jambi. (2023, 9 November). *Sosialisasi hasil identifikasi perbaikan cara penanganan pascapanen biji Pinang Betara*.

- <https://jambi.brmp.pertanian.go.id/berita/sosialisasi-hasil-identifikasi-perbaikan-cara-penanganan-pascapanen-biji-pinang-betara>
- Cahyadi, M. F., Syahputra, S., & Syari, M. A. (2022). Penerapan metode *thresholding* pada proses transformasi citra digital. *Educate: Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran*, 1(3), 319–346. <https://doi.org/10.56114/edu.v1i3.422>
- Chan, F. R., Yanti, R., & Ramadhanu, A. (2024). Peningkatan metode *median filter* untuk identifikasi dan akurasi jenis pisang emas dan pisang kapas. *JOISIE (Journal of Information Systems and Informatics Engineering)*, 8(2), 314–322. <https://doi.org/10.35145/joisie.v8i2.4767>
- Dhanesha, R., Umesha, D. K., Anitha, A. C., Shrinivasa Naika, C. L., & Sudhakar, H. R. (2023). Segmentation and classification of arecanut bunches before harvesting. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(9), 3953–3962. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i9.9736>
- Ding, H., Zhou, G., Zhao, L., Li, X., Wang, Y., Xia, C., Xia, Z., & Wan, Y. (2023). Genome-wide association analysis of fruit shape-related traits in *Areca catechu*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4686. <https://doi.org/10.3390/ijms24054686>
- Fitriyah, H. (2022). Accuracy of various methods to estimate volume and weight of symmetrical and non-symmetrical fruits using computer vision. *Journal of ICT Research and Applications*, 16(3), 210–225. <https://doi.org/10.5614/itbj.ict.res.appl.2022.16.3.2>
- Qisthiano, M. R., & Pratiwi, A. O. (2025). Deteksi tepi pada citra objek benda menggunakan algoritma Sobel dan Prewitt dengan Python. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2), 1115–1122. <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6407>
- Rangani, S. C., Marapana, R. A. U. J., Senanayake, G. S. A., Perera, P. R. D., Pathmalal, M. M., & Amarasinghe, H. K. (2023). Correlation analysis of phenolic compounds, antioxidant potential, oxygen radical scavenging capacity, and alkaloid content in ripe and unripe *Areca catechu* from major cultivation areas in Sri Lanka. *Applied Food Research*, 3(2), 100361. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100361>
- Sarimole, F. M., & Rosiana, A. (2022). Classification of maturity levels in areca fruit based on HSV image using the KNN method. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, 4(1), 64–73. <https://doi.org/10.37385/jaets.v4i1.951>
- Seneng, I. K., Adnyana, I. M. B., Putra, I. M. A. W., & Suwirmayanti, N. L. G. P. (2024). Studi pembandingan *edge detection* metode Sobel dan Prewitt pada citra rontgen menggunakan *software* MATLAB. *Jurnal Eksplora Informatika*, 13(2), 175–187. <https://doi.org/10.30864/eksplora.v13i2.1033>
- Tukan, S. B., Weking, A. N., & Watomakin, D. B. (2025). Optimalisasi parameter K dalam algoritma *K-Nearest Neighbor* untuk klasifikasi kematangan buah pinang berdasarkan fitur tekstur dan warna. *Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 5(2), 72–83. <https://doi.org/10.55606/teknik.v5i2.7405>
- Umesha, D. K., Venkata Krishna, J., Dhanesha, R., Hiremath, G. S., & Narendra Kumar, S. (2024). Deep learning for arecanut maturity assessment: A comparative analysis of fine-tuned CNN models in RGB, saturation, and grayscale domains. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(22s), 2038–2046. <https://www.ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/7457>
- Yanto, F., Agustina, A., Budianita, E., Iskandar, I., & Syafria, F. (2024). Klasifikasi penyakit tanaman padi menggunakan arsitektur DenseNet-121 dan augmentasi data. *JOISIE (Journal of Information Systems and Informatics Engineering)*, 8(1), 124–134. <https://doi.org/10.35145/joisie.v8i1.4256>
- Zhang, X., Gao, Q., Long, Y., Zhang, G., & He, Y. (2026). Lightweight real-time strawberry volume estimation based on instance segmentation and principal-axis slicing. *Agriculture*, 16(13), 1443. <https://doi.org/10.3390/agriculture16131443>