

Perbandingan Akurasi Teknik Pengolahan Citra Digital Dan Owendrying Untuk Penentuan Kadar Air Pada Biji Kopi

Ardi Wijaya¹, Nanda Natasya^{1*}, Anisya Sonita¹, Rozali Toyib¹

¹Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Indonesia.

Artikel Info

Kata Kunci:

Biji Kopi;
Deteksi Tepi Canny;
Kadar Air;
Pengolahan Citra Digital;
Random Forest.

Keywords:

Coffee Beans;
Canny Edge Detection;
Water Content;
Digital Image Processing;
Random Forest.

Riwayat Artikel:

Submitted: 05 September 2025
Accepted: 03 November 2025
Published: 04 November 2025

Abstrak: Kadar air adalah parameter kritis penentu kualitas biji kopi, namun metode pengukurannya yang standar, yaitu oven-drying, bersifat lambat, destruktif, dan boros energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem alternatif non-destruktif berbasis pengolahan citra digital untuk memprediksi kadar air biji kopi. Metode yang diusulkan mengintegrasikan algoritma Deteksi Tepi Canny Untuk membangun model, sistem ini dilatih menggunakan data ground-truth yang membandingkan perubahan fitur geometris 50 sampel citra dengan data kadar air aktual. Penelitian ini menggunakan desain eksperimental kuantitatif dengan 50 sampel biji kopi untuk membandingkan akurasi metode usulan terhadap metode oven-drying sebagai standar acuan. Kinerja sistem dievaluasi menggunakan metrik Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berbasis citra digital mampu memprediksi kadar air dengan baik, mencapai tingkat kesalahan rata-rata (MAPE) sebesar 11.72%.. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa metode pengolahan citra digital merupakan alternatif yang sangat potensial, karena tidak hanya menawarkan akurasi yang menjanjikan tetapi juga jauh lebih unggul dalam hal efisiensi waktu (hitungan detik vs. jam) dan bersifat non-destruktif, sehingga relevan untuk implementasi di industri kopi.

Abstract: Water content is a critical parameter for determining the quality of coffee beans, yet the standard measurement method, the standard oven drying method, is slow, destructive and energy-intensive. This study aims to develop and evaluate a non-destructive alternative system based on digital image processing to predict the water content of coffee beans. The proposed method integrates the Canny Edge Detection algorithm to extract geometric features (changes in area) from images of coffee beans before and after drying, which are then processed using a Random Forest Regressor machine learning model. This research employed a quantitative experimental design with 50 coffee bean samples to compare the performance of the proposed method against the oven drying method as the reference standard. System performance was evaluated using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) metric. The results showed that the digital image processing-based system could predict water content with a good level of accuracy, achieving a MAPE value of 11.72%. This study concludes that the digital image processing method is a highly potential alternative, as it not only offers promising accuracy but is also far superior in terms of time efficiency (seconds vs. hours) and its non-destructive nature, making it relevant for implementation in the coffee industry.

Corresponding Author:

Nanda Natasya
Email: nanda.natasya74@gmail.com

PENDAHULUAN

Kadar air merupakan parameter krusial yang menentukan kualitas dan daya tahan biji kopi selama proses pengolahan hingga penyimpanan. Kadar air yang tidak ideal, baik terlalu tinggi maupun terlalu rendah, dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme perusak, menyebabkan kerapuhan, dan berdampak negatif pada profil cita rasa kopi yang dihasilkan. Secara spesifik, kadar air di atas 12.5% dapat mempercepat pertumbuhan jamur dan pembentukan mikotoksin yang berbahaya, sementara kadar air di bawah 10% dapat membuat biji kopi kehilangan berat dan aroma khasnya saat proses sangrai (Wahyuni et al., 2022). Oleh karena itu, pengukuran kadar air yang akurat menjadi sangat penting dalam industri kopi untuk memastikan kualitas produk tetap optimal. Metode yang umum digunakan dalam industri saat ini adalah oven-drying, sebuah teknik yang diakui memiliki akurasi tinggi. Meskipun demikian, metode ini memiliki keterbatasan signifikan, seperti prosesnya yang lambat karena memakan waktu berjam-jam, bersifat destruktif terhadap sampel, dan memerlukan konsumsi energi yang tinggi, sehingga kurang efisien untuk analisis cepat atau skala besar. Hal ini sejalan dengan pandangan dari para ahli di bidang visi komputer, yang menyatakan bahwa meskipun metode tradisional akurat, kebutuhan industri modern akan kecepatan dan otomatisasi mendorong pengembangan teknik alternatif non-destruktif. Salah satu pendekatan yang paling menjanjikan adalah analisis citra digital, karena kemampuannya untuk mengekstraksi data kuantitatif dari gambar secara objektif dan cepat (Ramadhan et al., 2025). Studi oleh Ahn et al. (2014) bahkan menyoroti bahwa metode oven-drying, terutama pada suhu tinggi seperti 135°C, dapat menyebabkan hasil yang tidak akurat (overestimasi) pada bahan-bahan tertentu karena hilangnya senyawa volatil selain air. Seiring kemajuan teknologi, berbagai alternatif modern telah dikembangkan. Alibayan et al. (2019), misalnya, mengusulkan metode kapasitansi untuk pengukuran kadar air yang lebih cepat. Seiring kemajuan teknologi, pengolahan citra digital hadir sebagai alternatif modern yang menawarkan kecepatan, efisiensi, dan kemampuan analisis non-destruktif (Ponce, 2012). Pendekatan ini memungkinkan ekstraksi informasi visual dari citra untuk dianalisis lebih lanjut. Salah satu teknik yang populer dalam pengolahan citra adalah Deteksi Tepi Canny, yang efektif dalam menyoroti batas objek untuk analisis perubahan dimensi dan tekstur (Gonzalez & Woods, 2018). Keunggulan algoritma Canny terletak pada proses multi-tahapnya yang mencakup Gaussian smoothing, pencarian gradien, non-maximum suppression, dan hysteresis thresholding, yang secara kolektif mampu menghasilkan deteksi tepi yang akurat dengan tingkat kesalahan yang rendah (Veronika et al., 2024). Untuk meningkatkan akurasi prediksi, fitur visual yang diekstraksi dapat diintegrasikan dengan algoritma machine learning seperti Random Forest Regressor, yang mampu mempelajari hubungan kompleks antara karakteristik citra dan kadar air aktual.

Penelitian oleh Batubara (2020) menerapkan metode Canny Edge Detection untuk mendeteksi tepi biji kopi guna menentukan bibit unggul. Hasilnya menunjukkan bahwa metode ini efektif untuk identifikasi bentuk dan struktur biji kopi, yang menjadi dasar penting untuk analisis citra lebih lanjut. Penelitian lain oleh Pratama et al. (2022) mengembangkan sistem klasifikasi tingkat kematangan kopi sangrai menggunakan pengolahan citra digital dengan metode KNN dan PCA. Studi ini menegaskan bahwa pengolahan citra memiliki potensi besar dalam analisis karakteristik biji kopi, termasuk yang relevan untuk penentuan kadar air. Sementara itu, penelitian oleh Mahendra (2022) menerapkan deteksi tepi Canny untuk menentukan bobot sapi dari citra digital. Meskipun objeknya berbeda, penelitian ini menunjukkan pendekatan serupa dalam menggunakan fitur fisik dari citra untuk estimasi berat, yang relevan dengan penelitian ini. Terakhir, penelitian Rodríguez et al., (2020) mengembangkan sistem deteksi otomatis biji kopi di pohon. Penggunaan metode Canny dalam penelitian tersebut memberikan wawasan tambahan mengenai efektivitas metode ini dalam mengidentifikasi karakteristik biji kopi secara presisi.

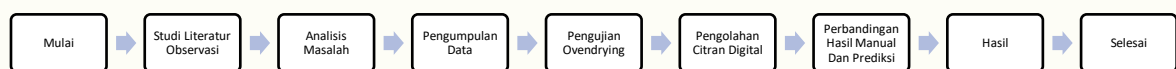
Kesenjangan utama dari penelitian-penelitian terdahulu adalah belum adanya studi yang secara spesifik menggabungkan Deteksi Tepi Canny dengan algoritma machine learning Random Forest Regressor untuk memprediksi berat dan kadar air biji kopi utuh (tidak dikupas). Meskipun penelitian sebelumnya telah berhasil menerapkan deteksi tepi Canny untuk identifikasi dan klasifikasi, belum ada

yang secara langsung membandingkan akurasi metode ini dengan metode standar oven-drying menggunakan metrik Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dalam konteks prediksi kadar air. Selain itu, penelitian yang ada cenderung berfokus pada fitur seperti warna untuk kematangan atau identifikasi objek, bukan pada perubahan fitur geometris (penyusutan luas area) sebagai indikator utama penurunan kadar air selama proses pengeringan.

Penelitian ini berkontribusi dengan mengembangkan dan mengevaluasi sistem prediksi berat dan kadar air biji kopi yang mengintegrasikan pengolahan citra digital menggunakan Deteksi Tepi Canny untuk ekstraksi fitur geometris dan Random Forest Regressor untuk pemodelan prediksi. Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini secara langsung menguji dan memvalidasi akurasi sistem terhadap metode oven-drying menggunakan 50 sampel uji dan mengevaluasinya secara kuantitatif dengan MAPE. Dengan menganalisis citra sebelum dan sesudah pengeringan, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa metode berbasis citra digital dapat menjadi alternatif yang tidak hanya lebih cepat dan efisien, tetapi juga memiliki akurasi yang menjanjikan untuk implementasi di skala industri kopi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif metode prediksi kadar air yang lebih cepat, non-destruktif, dan akurat, sekaligus berkontribusi pada literatur ilmiah di bidang pengolahan citra pertanian.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan desain eksperimental dengan pendekatan kuantitatif (Waruwu et al., 2025). Pendekatan eksperimental memungkinkan peneliti untuk mengontrol variabel secara ketat dan memanipulasi perlakuan (dalam hal ini, metode pengukuran) untuk mengamati dampaknya terhadap hasil (tingkat akurasi), sehingga hubungan sebab-akibat dapat diidentifikasi secara jelas (Arib et al., 2024). Desain ini dipilih karena tujuan utama penelitian adalah untuk membandingkan secara kuantitatif tingkat akurasi antara dua metode penentuan kadar air biji kopi: metode pengolahan citra digital sebagai metode yang diusulkan dan metode owendrying sebagai metode referensi atau acuan standar. Melalui pendekatan ini, kinerja sistem berbasis citra digital dapat diukur dan divalidasi secara objektif terhadap hasil yang sudah teruji (Yu et al., 2024).



Gambar 1. Alur Penelitian

Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui tahapan sistematis untuk memastikan bahwa data yang diperoleh relevan, representatif, dan sesuai kebutuhan penelitian.

1. Studi Literatur dan Observasi Awal

Tahap awal meliputi kajian literatur untuk memahami konsep pengolahan citra digital, algoritma deteksi tepi Canny, serta prosedur standar metode owendrying. Selanjutnya dilakukan observasi awal guna menyesuaikan kondisi nyata sampel dengan kebutuhan teknis, termasuk menentukan parameter optimal pengambilan citra, seperti jarak kamera (15–20 cm), resolusi (1080p HD), serta intensitas pencahayaan.

2. Pengumpulan Dataset

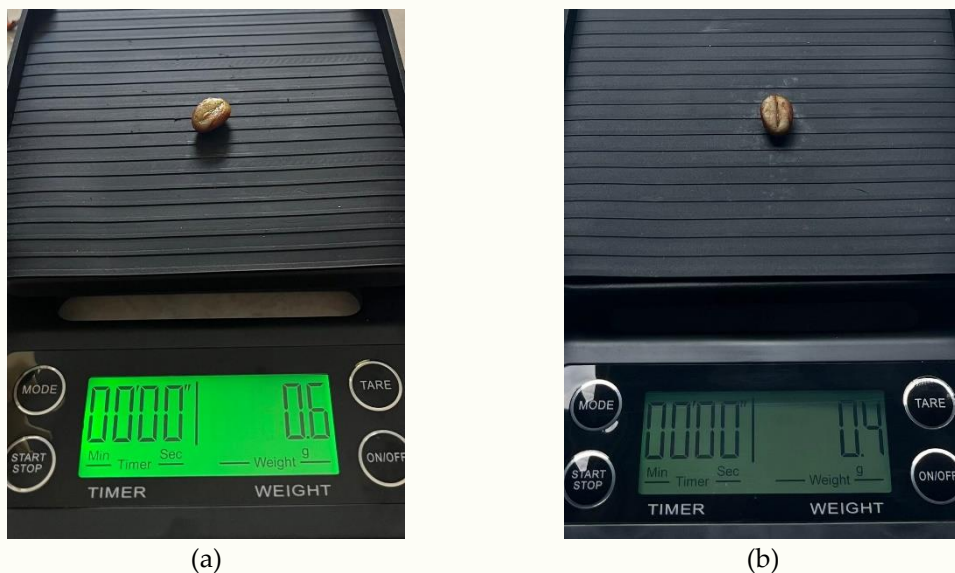
Sebanyak 107 sampel biji kopi utuh (belum dikupas) digunakan dalam penelitian ini. Seluruh dataset ini dibagi menjadi dua set: 57 sampel untuk data latih (training data) dan 50 sampel untuk data uji (testing data). Setiap sampel difoto menggunakan kamera ponsel dalam dua kondisi. Data latih digunakan untuk membangun model prediksi, sementara data uji digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan generalisasi sistem.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui dua jalur proses yang berjalan paralel, yaitu pengujian dengan metode referensi (ovendrying) dan pengolahan data menggunakan sistem berbasis pengolahan citra digital.

1. Pengujian Metode Referensi (Ovendrying)

Metode ovendrying digunakan untuk memperoleh nilai kadar air aktual yang dijadikan sebagai acuan penelitian (Carneiro et al., 2018). Proses pengujian diawali dengan penimbangan berat awal sampel (berat basah), kemudian sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 4–6 jam hingga beratnya mencapai kondisi stabil. suhu 105°C dipilih karena merupakan standar yang umum digunakan dalam analisis gravimetri untuk menghilangkan kelembapan dari sampel solid tanpa menyebabkan dekomposisi termal yang signifikan pada komponen organik (Paramida et al., 2022). Setelah proses pengeringan selesai, sampel didinginkan dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir (berat kering). Proses dokumentasi penimbangan berat sebelum dan sesudah pengeringan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Dokumentasi Timbangan

Gambar 2. Dokumentasi proses penimbangan sampel biji kopi: (a) Pengukuran berat sebelum pengeringan (0.6 g) dan (b) Pengukuran berat sesudah pengeringan (0.4 g). Berdasarkan hasil penimbangan tersebut, kadar air aktual selanjutnya dihitung menggunakan persamaan (Maimunah et al., 2024):

$$\text{Kadar Air}(\%) = \frac{\text{Berat Basah} - \text{Berat Kering}}{\text{Berat Basah}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana,

Berat Basah adalah berat awal sampel sebelum dikeringkan.

Berat Kering adalah berat sampel setelah dikeringkan dalam oven.

2. Pengujian Metode Pengolahan Citra Digital

Metode pengolahan citra digital digunakan untuk menghasilkan nilai kadar air prediksi (Pi)(P_i)(Pi). Proses analisis dimulai dengan mengonversi citra sampel, baik sebelum maupun sesudah pengeringan, ke dalam format grayscale guna menyederhanakan analisis visual. Proses konversi ke grayscale ini merupakan langkah pra-pengolahan yang krusial karena menghilangkan informasi warna yang tidak relevan (seperti rona dan saturasi) dan mereduksi kompleksitas data citra dari tiga kanal (Merah, Hijau, Biru) menjadi satu kanal intensitas cahaya. Hal ini memungkinkan algoritma deteksi tepi untuk fokus sepenuhnya pada perubahan kecerahan, yang menjadi dasar dari sebuah tepi objek (Wijaya & Franata, 2020). Selanjutnya, algoritma deteksi tepi Canny diterapkan untuk mengekstraksi fitur geometris, khususnya perubahan luas area yang terjadi akibat penyusutan biji kopi

selama proses pengeringan. Fitur-fitur yang diperoleh dari hasil ekstraksi tersebut kemudian dijadikan masukan bagi model Random Forest Regressor untuk menghasilkan estimasi kadar air. Dengan demikian, nilai prediksi kadar air diperoleh berdasarkan pola keterkaitan antara perubahan citra sampel dengan kadar air aktual. Model machine learning yang digunakan adalah Random Forest Regressor dari library scikit-learn, yang diimplementasikan menggunakan Python 3.10 di lingkungan Google Colab. Dalam konfigurasi ini, jumlah pohon diatur sebanyak 100 ($n_estimators=100$). Tidak dilakukan hyperparameter tuning lebih lanjut karena fokus penelitian adalah pada demonstrasi konsep dan perbandingan akurasi metode terhadap standar oven-drying.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi kinerja metode usulan dengan cara membandingkan hasil prediksi yang diperoleh dari sistem dengan hasil metode referensi. Tingkat akurasi pengukuran dihitung menggunakan metrik Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang menunjukkan rata-rata persentase kesalahan prediksi terhadap nilai aktual. Perhitungannya dilakukan melalui dua tahap, yaitu menghitung Absolute Percentage Error (APE) pada setiap sampel menggunakan persamaan (Azizah et al., 2024):

$$APE = \left| \frac{A_i - P_i}{A_i} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Dimana ,

A_i = adalah nilai kadar air aktual dari metode owendrying,

P_i = adalah nilai kadar air estimasi dari pengolahan citra digital,

Kemudian merata-ratakan seluruh nilai APE untuk memperoleh nilai MAPE, sebagaimana ditunjukkan dalam rumus (Fazira et al., 2023):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n APE_i \quad (3)$$

Dimana:

n = Jumlah total sampel (yaitu 50)

APE_i = Nilai APE untuk sampel ke- i

Selain akurasi, aspek efisiensi juga dianalisis sebagai bahan pertimbangan. Metode citra digital terbukti mampu memberikan hasil dalam hitungan detik dan bersifat non-destruktif, sedangkan metode owendrying memerlukan waktu berjam-jam serta bersifat destruktif terhadap sampel.

Penarikan Kesimpulan

Kesimpulan penelitian didasarkan pada kombinasi antara hasil evaluasi akurasi dan efisiensi metode. Nilai MAPE yang rendah menunjukkan bahwa metode pengolahan citra digital memiliki tingkat prediksi yang baik. Di sisi lain, efisiensi waktu dan sifatnya yang non-destruktif menjadikan metode ini sebagai alternatif yang potensial untuk diterapkan pada industri pengolahan kopi, khususnya untuk kebutuhan pengukuran kadar air yang cepat, akurat, serta tidak merusak sampel.








HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Kadar Air dan Kinerja Sistem

Penelitian ini menggunakan 50 sampel biji kopi yang dianalisis menggunakan dua metode: owendrying untuk mendapatkan nilai kadar air aktual dan sistem pengolahan citra digital untuk mendapatkan nilai prediksi.

Tabel 1. Data Citra dan Berat Sebelum



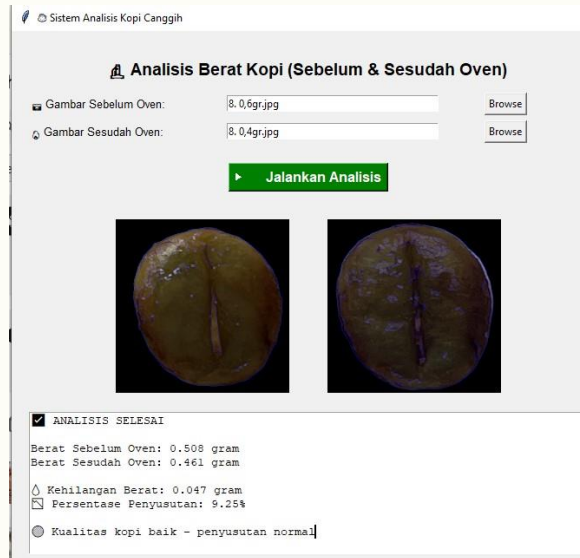
0/8 Gram 6 	1 Gram 7 	0.7 Gram 8 	0.7 Gram 9 	0.9 Gram 10 
0.8 Gram 11 	0.8 Gram 12 	0.6 Gram 13 	0.7 Gram 14 	0.7 Gram 15 
0.8 Gram 16 	1 Gram 17 	0.8 Gram 18 	0.8 Gram 19 	0.7 Gram 20 
0.8 Gram 21 	0.7 Gram 22 	0.9 Gram 23 	0.8 Gram 24 	0.8 Gram 25 
0.8 Gram 26 	0.6 Gram 27 	0.9 Gram 28 	0.4 Gram 29 	0.5 Gram 30 
0.8 Gram 31 	0.6 Gram 32 	0.7 Gram 33 	0.6 Gram 34 	0.8 gram 35 
1.0 Gram 36 	0.8 Gram 37 	0.6 Gram 38 	0.8 gram 39 	0.6 Gram 40 
0.8 Gram 41 	0.7 Gram 42 	0.4 Gram 43 	0.5 Gram 44 	0.5 Gram 45 
0.8 Gram 46 	0.8 Gram 47 	0.9 Gram 48 	0.7 Gram 49 	0.7 Gram 50 
0.9 Gram	0.9 Gram	0.5 Gram	0.7 Gram	0.5 Gram

Tabel 2. Data Citra dan Berat Sesudah

				
0.4 Gram	0.7 Gram	0.3 Gram	0.4 Gram	0.6 Gram
				
0.5 Gram	0.7 Gram	0.4 Gram	0.5 Gram	0.5 Gram
				
0.5 Gram	0.9 Gram	0.6 Gram	0.6 Gram	0.4 Gram
				
0.5 Gram	0.4 Gram	0.7 Gram	0.5 Gram	0.4 Gram
				
0.7 Gram	0.4 Gram	0.8 Gram	0.2 Gram	0.3 Gram
				
0.4 Gram	0.4 Gram	0.6 Gram	0.3 Gram	0.7 gram
				
0.7 Gram	0.6 Gram	0.3 Gram	0.4 gram	0.4 Gram
				
0.5 Gram	0.3 Gram	0.3 Gram	0.4 Gram	0.3 Gram
				
0.6 Gram	0.4 Gram	0.7 Gram	0.6 Gram	0.5 Gram
				
0.7 Gram	0.5 Gram	0.3 Gram	0.3 Gram	0.3 Gram

Data berat awal dan akhir dari metode oven drying disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 dalam dokumen penelitian. Data tersebut menjadi acuan untuk menghitung kadar air aktual dan mengevaluasi kinerja sistem.

Sistem yang dikembangkan mampu memproses pasangan gambar (sebelum dan sesudah oven), menerapkan deteksi tepi Canny, dan menghasilkan prediksi berat serta penurunan kadar air, seperti yang ditunjukkan pada antarmuka hasil pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Hasil Prediksi Sistem

Gambar 3 menunjukkan contoh output dari sistem untuk satu sampel data. Sistem menampilkan prediksi berat sebelum (0.506 gram), prediksi berat sesudah (0.461 gram), selisih berat (0.047 gram), dan estimasi penurunan kadar air (9.25%). Proses ini diulang untuk seluruh 50 sampel guna mengumpulkan data prediksi yang kemudian dibandingkan dengan data aktual.

Perbandingan antara hasil perhitungan manual (aktual) dari metode oven drying dan hasil estimasi sistem (prediksi) disajikan secara lengkap pada Tabel 1. Tabel ini juga mencakup nilai Absolute Percentage Error (APE) untuk setiap sampel dan nilai akhir Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebagai ukuran kinerja keseluruhan sistem.

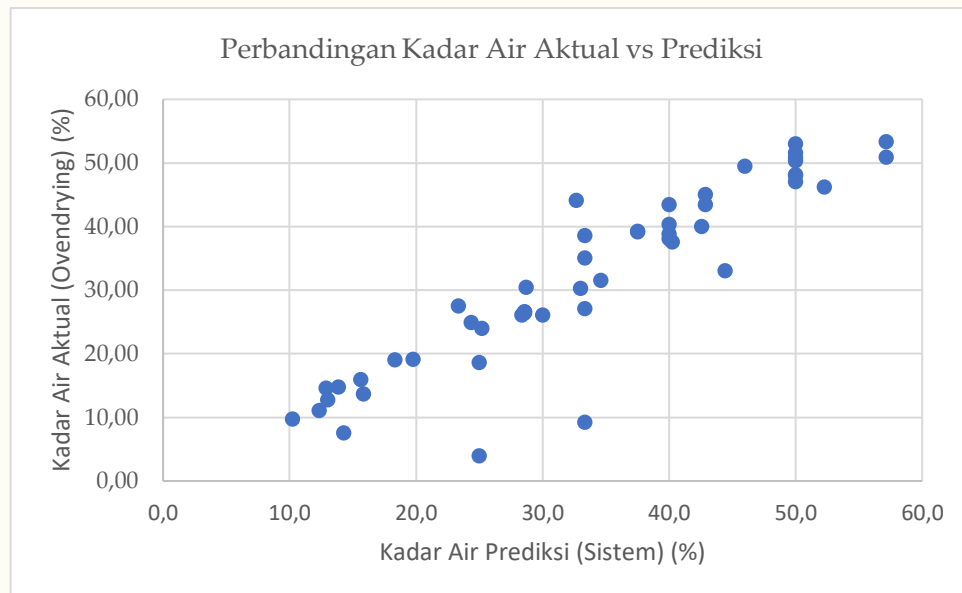
Tabel 3. Perbandingan hasil Manual dan Sistem

No	Manual			Sistem			APE
	Berat Sebelum	Berat Sesudah	Kadar Air(%)	Berat Sebelum	Berat Sesudah	Kadar Air (%)	
1.	0.8	0.4	50.0	0.871	0.452	48.11	3.8
2.	1	0.7	28.7	1.013	0.75	30.40	5.9
3.	0.7	0.3	52.3	0.641	0.345	46.18	11.7
4.	0.7	0.4	42.6	0.786	0.472	39.95	6.2
5.	0.9	0.6	33.3	0.948	0.616	35.02	5.1
6.	0.8	0.5	34.63	0.816	0.559	31.50	9.0
7.	0.8	0.7	15.63	0.824	0.693	15.90	1.8

Perbandingan Akurasi Teknik Pengolahan Citra Digital Dan Owendrying Untuk Penentuan Kadar Air Pada Biji Kopi

8.	0.6	0.4	33.33	0.508	0.461	9.25	72.2
9.	0.7	0.5	28.57	0.779	0.572	26.57	7.0
10.	0.7	0.5	28.57	0.697	0.513	26.40	7.6
11.	0.8	0.5	40.25	0.724	0.452	37.57	6.7
12.	1	0.9	12.90	0.893	0.763	14.56	12.9
13.	0.8	0.6	25.00	0.685	0.658	3.94	84.2
14.	0.8	0.6	25.00	0.714	0.581	18.63	25.5
15.	0.7	0.4	42.86	0.753	0.426	43.43	1.3
...
50.	0.5	0.3	40.00	0.518	0.293	43.44	8.6
MAPE							11.72

Hasil utama dari penelitian ini adalah sistem pengolahan citra digital berhasil mencapai nilai MAPE sebesar 11.72%.



Gambar 4. Grafik Scatter Plot Perbandingan Kadar Air Aktual (Metode Owendrying) vs Kadar Air Prediksi (Sistem Pengolahan Citra Digital)

Untuk memvisualisasikan korelasi antara hasil prediksi sistem dan hasil aktual, data dari Tabel 3 disajikan dalam bentuk scatter plot pada Gambar 4. Grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai kadar air aktual dari metode owendrying (Sumbu X) dengan nilai prediksi dari sistem pengolahan citra digital (Sumbu Y).

Pembahasan

Nilai MAPE sebesar 11.72% menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan memiliki tingkat akurasi yang baik dan menjanjikan untuk memprediksi kadar air biji kopi. Dalam banyak aplikasi peramalan, nilai MAPE di bawah 20% dianggap memiliki kinerja yang baik, dan nilai mendekati 10% menunjukkan akurasi yang tinggi. Hasil ini secara langsung menjawab permasalahan utama penelitian, yaitu menemukan alternatif metode pengukuran kadar air yang tidak hanya cepat tetapi juga akurat.

Keberhasilan ini dapat diatribusikan pada dua komponen utama. Pertama, Deteksi Tepi Canny terbukti efektif dalam mengekstraksi fitur kunci, yaitu perubahan luas area biji kopi akibat penyusutan selama pengeringan. Perubahan geometris ini berkorelasi kuat dengan hilangnya massa air. Kedua, model Random Forest Regressor mampu mempelajari pola non-linear yang kompleks antara fitur visual tersebut dengan kadar air aktual. Kemampuan Random Forest untuk menggabungkan banyak decision tree membuatnya robust terhadap variasi kecil dalam data dan mencegah overfitting.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya seperti oleh Batubara (2020) dan Pratama et al. (2022), penelitian ini mengambil langkah lebih maju. Tidak hanya mengidentifikasi atau mengklasifikasi biji kopi, tetapi juga berhasil melakukan estimasi kuantitatif terhadap properti fisik (kadar air) dan memvalidasinya terhadap standar industri. Hasil ini sejalan dengan temuan Yuda Mahendra (2022) yang berhasil mengestimasi bobot sapi, yang mengkonfirmasi bahwa analisis fitur visual dapat digunakan untuk memprediksi atribut fisik secara akurat.

Meskipun hasil MAPE 11.72% secara keseluruhan terbilang baik, analisis pada nilai APE per sampel (Tabel 3) menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar prediksi akurat, terdapat beberapa sampel pencilan (outlier) dengan nilai deviasi APE yang tinggi. Variasi ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, seperti inkonsistensi pencahayaan saat pengambilan citra, bentuk biji kopi yang tidak umum, atau posisi biji yang sedikit berubah antara pengambilan gambar pertama dan kedua. Faktor-faktor ini dapat menjadi sumber noise yang memengaruhi akurasi prediksi pada kasus-kasus tertentu.

Keunggulan paling signifikan dari metode ini adalah efisiensi. Proses prediksi menggunakan citra digital hanya memerlukan beberapa detik, sangat kontras dengan metode oven-drying yang memakan waktu 4–6 jam. Selain itu, metode ini non-destruktif, artinya sampel biji kopi tetap utuh dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut atau dijual, sedangkan metode oven-drying merusak sampel secara permanen. Keunggulan ini memiliki implikasi praktis yang besar bagi industri kopi, memungkinkan adanya kontrol kualitas yang cepat (real-time) di lini produksi atau di tingkat petani.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem prediksi kadar air biji kopi yang dikembangkan melalui integrasi Deteksi Tepi Canny dan Random Forest Regressor telah berhasil divalidasi. Metode yang diusulkan ini menunjukkan kinerja yang baik dengan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 11.72% bila dibandingkan dengan metode standar oven-drying. Dengan tingkat akurasi tersebut, ditambah keunggulan signifikan dalam hal efisiensi waktu (hitungan detik vs. jam) dan sifatnya yang non-destruktif pada tahap implementasi (prediksi), metode pengolahan citra digital terbukti menjadi alternatif yang sangat potensial dan praktis. Oleh karena itu, metode ini menawarkan solusi efektif untuk kebutuhan kontrol kualitas yang cepat dan efisien di industri kopi. Untuk pengembangan di masa depan, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan dataset yang lebih besar dan mencakup beragam varietas kopi untuk meningkatkan generalisasi dan robustitas model.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, J. Y., Kil, D. Y., Kong, C., & Kim, B. G. (2014). Comparison Of Oven-Drying Methods For Determination Of Moisture Content In Feed Ingredients. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(11), 1615–1622. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14305>
- Alibayan, J. P. I., Bobadilla, I. R. C., Carnicer, M. K. V., Pascua, R. T., Teodosio, J. G., Arago, N. M., Tolentino, L. K. S., Fernandez, E. O., & Valenzuela, I. C. (2019). Green Coffee Bean Sorter and Corrector based on Moisture Content using Capacitive Method. *Auckland University of Technology*, 1-4. . <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9073477>
- Arib, M. F., Rahayu, M. S., Sidorj, R. A., & Afgani, M. W. (2024). Experimental Research Dalam Penelitian Pendidikan. *Journal Of Social Science Research*, 4(1), 5497–5511.
- Azizah, I., Helmiah, F., & Latiffani, C. (2024). Penerapan Metode Trend Moment Dalam Memprediksi Penjualan Rumah KPR Bersubsidi Pada Perumahan. *Decode: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 4(3), 798–808. <https://doi.org/10.51454/decode.v4i3.509>
- Batubara, S. A. (2020). Perancangan Aplikasi Pengolahan Citra Digital Untuk Menentukan Bibit Unggul Biji Kopi dengan Metode Canny Edge Detection. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 7(3), 421. <https://doi.org/10.30865/jurikom.v7i3.2206>
- Carneiro, J. D. S., Nogueira, R. M., Martins, M. A., Valladão, D. M. D. S., & Pires, E. M. (2018). The Oven-Drying Method For Determination Of Water Content In Brazil Nut. *Bioscience Journal*, 34(3), 595–602. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n3a2018-37726>
- Fazira, D. N., Mulyani, N., & Rahayu, E. (2023). Prediksi Kebutuhan Bahan Baku Kedelai Di Pabrik Tahu Buk Iyem Menggunakan Metode Least Square. *Decode: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 3(2), 341–351. <https://doi.org/10.51454/decode.v3i2.203>
- Gonzalez, R. C. ., & Woods, R. E. . (2018). *Digital image processing*. Pearson Education.
- Mahendra, V. Y., & Riadi, A. A., Evanita, E. (2022). Aplikasi Pengolahan Citra Digital Menentukan Bobot Sapi Dengan Metode Titik Berat Berbasis Android. *Jurasik: Jurnal Riset Sistem dan Teknik Informatika*, 7(1), 88–94. <https://doi.org/10.30645/jurasik.v7i1.419>
- Maimunah, S., Prayoga, A., Aruan, D. G. R., & Purba, R. R. (2024). Utilization of Controlled Oven Drying Method to Produce Export Quality of Coffee Peel and Beans (*Coffea arabica* L.). *Jurnal Pembelajaran Biologi*, 10(3), 1063–1072. <https://doi.org/10.36987/jpbn.v10i3.6327>
- Paramida, O., Fadhil, R., Syafriandi, S., & Lubis, A. (2022). Pengujian Penyangraian Kopi Arabika dengan Mesin Penyangrai Kopi Tabung Silinder menggunakan Sumber Panas Listrik. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(4), 895–903.
- Ponce, J. (2012). *Computer Vision: A Modern Approach*. Prentice Hall Professional Technical Referenc.
- Pratama, M. I., . Kusriani, K., & Muhammad, A. H. (2022). Classification Of Coffee Beans Roast Maturity Levels Based On Digital Image Processing Color Using The KNN And PCA Method. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 12(12), 138–148. <https://doi.org/10.29322/ijsrp.12.12.2022.p13217>
- Ramadhan, R. P., Pahrizal, P., & Apridiansyah, Y. (2025). Eksperimen Perbandingan Otsu Thresholding dan Canny Edge Detection Terhadap Peningkatan Kualitas Citra Beresolusi Rendah. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 7(3), 2210–2216. <https://doi.org/10.38035/rrj.v7i3.1575>
- Rodríguez, J. P., Corrales, D. C., Aubertot, J. N., & Corrales, J. C. (2020). A Computer Vision System For Automatic Cherry Beans Detection On Coffee Trees. *Pattern Recognition Letters*, 136, 142–153. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.05.034>

- Veronika, N. D. M., Adelia, S., Reswan, Y., & Imanullah, M. (2024). Perbandingan Algoritma Canny dan Algoritma Robert Pada Deteksi Tepi Kain Batik Khas Bengkulu. *JSAI (Journal Scientific and Applied Informatics)*, 7(2), 393–398. <https://doi.org/10.36085/jsai.v7i2.6577>
- Wahyuni, T., Meilin, A., & Nasamsir, N. (2022). Pengaruh Kadar Air Biji Kopi Liberika Tungkal Komposit (*Coffea liberica* L.) Dalam Penyimpanan Terhadap Serangan *Araecerus fasciculatus* (De geer). *Jurnal Media Pertanian*, 7(2), 116-122. <https://doi.org/10.33087/jagro.v7i2.156>
- Waruwu, M., Pu`at, S. N., Utami, P. R., Yanti, E., & Rusydiana, M. (2025). Metode Penelitian Kuantitatif: Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 10(1), 917–932. <https://doi.org/10.29303/jipp.v10i1.3057>
- Wijaya, A., & Franata, H. (2020). Peningkatan Hasil Segmentasi Deteksi Tepi Menggunakan Morphology Pada Pengolahan Citra. *Jukomika: Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 3(6), 549-562.
- Yu, S., Zheng, H., Wilson, D. I., Yu, W., & Young, B. R. (2024). Integrating Image Analysis and Machine Learning for Moisture Prediction and Appearance Quality Evaluation: A Case Study of Kiwifruit Drying Pretreatment. *Foods*, 13(12), 1789. <https://doi.org/10.3390/foods13121789>