

Sistem Deteksi Real-Time Varietas dan Grade Biji Kopi Menggunakan CNN MobileNet-V2

¹Tahta Yudha Saputra, ²Edy Kurniawan, ³Rhesma Intan Vidyastari

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Ponorogo

¹yudhatahta93@gmail.com, ²edy@umpo.ac.id, ³rhesma@umpo.ac.id

Abstract—Coffee plantations play a vital role in Indonesia's economy, with East Java as one of the main producers of Arabica and Robusta beans. Manually identifying coffee variety and quality remains difficult for farmers and small business owners due to subjective visual assessment. This study aims to design a coffee bean type and quality detection system based on digital image processing, integrating a webcam, a Raspberry Pi 4 microcomputer, a Convolutional Neural Network (CNN) with MobileNet-V2 architecture, and a 20x4 I2C LCD for displaying results. The system operates through three stages: input (image capture), process (variety and grade classification using a trained CNN model), and output (result display on the LCD). Evaluation was carried out using a confusion matrix and fifteen field-testing scenarios divided into three groups: Robusta, Arabica, and mixed samples. The confusion matrix showed 846 correct classifications out of 1,407 test samples. In field testing, the system achieved its highest success rate of 80% for Robusta samples, while both Arabica and mixed samples reached 60%, with an overall average success rate of about 67%. Misclassifications mainly resulted from overlapping visual features between varieties at similar quality grades, as well as increased complexity when two varieties appeared within a single frame. These results indicate that the developed system is sufficiently capable of supporting real-time, objective, and standardized basic coffee bean sorting, although further refinement of feature extraction is needed to more accurately distinguish varieties and grades with similar visual characteristics.

Keywords— Arabica coffee; Robusta coffee; Convolutional Neural Network; MobileNet-V2; digital image processing; Raspberry Pi 4

Abstrak—Perkebunan kopi memiliki peran penting bagi perekonomian Indonesia, dengan Jawa Timur sebagai salah satu sentra penghasil Arabika dan Robusta. Penentuan varietas dan mutu biji kopi secara manual masih sulit dilakukan masyarakat maupun pelaku usaha kecil karena mengandalkan pengamatan visual yang subjektif. Penelitian ini bertujuan merancang sistem deteksi jenis dan mutu biji kopi berbasis pengolahan citra digital menggunakan kamera webcam, mikrokomputer Raspberry Pi 4, algoritma Convolutional Neural Network (CNN) MobileNet-V2, dan LCD 20x4 I2C sebagai penampil hasil. Sistem bekerja melalui tiga tahap: masukan (pengambilan citra), proses (klasifikasi varietas dan grade menggunakan model CNN yang telah dilatih), serta keluaran (penampilan hasil pada LCD). Pengujian dilakukan melalui evaluasi confusion matrix serta lima belas skenario pengujian lapangan yang terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu Robusta, Arabika, dan campuran keduanya. Hasil confusion matrix menunjukkan ketepatan klasifikasi 846 dari 1.407 data uji. Pada pengujian lapangan, sistem mencapai tingkat keberhasilan tertinggi pada kelompok Robusta sebesar 80%, sedangkan kelompok Arabika dan campuran masing-masing mencapai 60%, dengan rata-rata keberhasilan keseluruhan sekitar 67%. Kesalahan klasifikasi umumnya terjadi akibat kemiripan fitur visual antarvarietas pada tingkat mutu yang berdekatan, serta kompleksitas pemrosesan saat dua varietas berada dalam satu citra. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang sudah memadai untuk mendukung proses sortasi dasar biji kopi secara real-time, objektif, dan terstandar, meskipun masih memerlukan penyempurnaan lebih lanjut pada ekstraksi fitur agar mampu membedakan varietas dan mutu yang memiliki karakteristik visual serupa secara lebih akurat.

Kata Kunci— Kopi Arabika; Kopi Robusta; Convolutional Neural Network; MobileNet-V2; Pengolahan Citra Digital; Raspberry Pi 4

I. PENDAHULUAN

Perkebunan kopi memegang peranan krusial dalam menyokong perekonomian Indonesia. Wilayah Jawa Timur—seperti Bondowoso, Malang, Jember, dan Banyuwangi—terkenal sebagai daerah penghasil utama yang didominasi oleh jenis Robusta serta Arabika, menjadikannya modal bernilai tinggi untuk memacu pertumbuhan ekonomi nasional [1]. Di samping popularitasnya sebagai minuman dunia, kopi kini bergeser menjadi bagian dari gaya hidup modern yang memicu lonjakan permintaan pasar, khususnya pada kelompok usia muda [1].

Tingkat mutu biji kopi bergantung pada serangkaian tolok ukur fisik maupun sensorik, mencakup warna, tekstur, dimensi, hingga aromanya [2]. Tak hanya ditentukan saat pemetikan, kualitas akhir kopi sangat dipengaruhi oleh penanganan pascapanen seperti pemilahan dan pengeringan, meski pada praktiknya penerapan standar di lapangan

kerap belum maksimal [3]. Dari segi bentuk fisik, Robusta umumnya cenderung membulat atau elips dengan garis tengah (center cut) lurus, sementara Arabika cenderung lonjong dengan garis tengah berkelok mirip huruf S [4][5]. Perbedaan ciri visual inilah yang dimanfaatkan untuk membedakan varietas dan mutunya.

Kesalahan dalam mendeteksi kualitas kopi dapat mengganggu keberlangsungan industri ini, mengingat masih banyak masyarakat serta pelaku usaha kecil yang kesulitan mengenali perbedaan Arabika dan Robusta secara kasatmata [2]. Oleh karena itu, kehadiran teknologi mutlak diperlukan agar proses penentuan varietas dan pengujian mutu berjalan lebih efisien, objektif, serta konsisten. Pemrosesan citra digital (PCD) hadir sebagai solusi tepat karena sanggup menganalisis karakteristik visual biji kopi secara terstruktur dan dapat diulang [6].

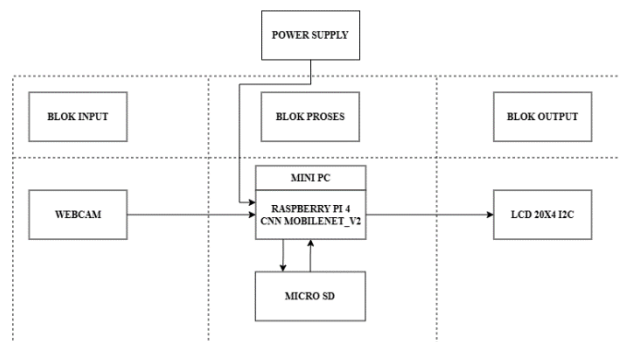
Convolutional Neural Network (CNN) merupakan model deep learning yang mampu memproses data gambar secara otomatis tanpa pemrosesan ekstraksi fitur manual [7]. Meski begitu, model CNN standar biasanya menuntut beban komputasi yang besar. Sebagai jalan keluar, arsitektur MobileNet-V2 menawarkan mekanisme yang lebih ringkas berkat penerapan depthwise separable convolution serta inverted residual with linear bottleneck. Pendekatan ini menjaga performa akurasi tetap tinggi sekaligus menghemat penggunaan daya komputasi, sehingga amat cocok dipasang pada perangkat embedded seperti Raspberry Pi 4 [8].

Guna mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini merancang serta membangun sistem pendeteksi jenis dan mutu biji kopi berbasis pengolahan citra digital. Perangkat ini memadukan kamera webcam, mikrokomputer Raspberry Pi 4, algoritma CNN MobileNet-V2, serta LCD 20x4 I2C untuk menampilkan hasil. Melalui alat ini, varietas Arabika dan Robusta dapat terklasifikasi sekaligus dikelompokkan ke dalam tiga tingkatan mutu fisik (Grade 1, Grade 2, dan Grade 3) secara langsung (real-time), terukur, serta terstandar. Kehadiran sistem ini diharapkan dapat mempermudah petani maupun pengusaha skala kecil dalam melakukan proses pemilahan (sortasi) biji kopi.)

II. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Sistem

Sistem dirancang untuk mengenali jenis dan menentukan kelas mutu biji kopi secara objektif melalui tiga tahapan kerja yang saling berkesinambungan, yaitu masukan, proses, dan keluaran. Pada tahap masukan, kamera webcam menangkap citra biji kopi secara real-time. Citra tersebut kemudian diproses oleh mikrokomputer Raspberry Pi 4 menggunakan algoritma CNN MobileNet-V2 yang tersimpan pada kartu microSD untuk mengekstraksi ciri morfologi biji kopi, sehingga sistem dapat membedakan varietas Arabika dan Robusta sekaligus menentukan kelas mutunya. Hasil akhir klasifikasi ditampilkan pada layar LCD 20x4 I2C sebagai umpan balik yang cepat dan praktis bagi pengguna. Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan Gambar 1, blok masukan terdiri atas kamera webcam yang didukung oleh power supply 5V. Citra yang diperoleh diteruskan ke blok proses, yaitu Raspberry Pi 4 yang menjalankan model CNN MobileNet-V2 dari kartu SD. Hasil klasifikasi selanjutnya diteruskan ke blok keluaran berupa layar LCD 20x4 I2C.

B. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras diawali dengan pemetaan alur kerja dan identifikasi jenis data yang akan diolah, kemudian dilanjutkan dengan perakitan dan integrasi antar komponen berdasarkan diagram blok yang telah disusun. Secara umum, sistem terbagi menjadi tiga bagian, yaitu blok input, proses, dan output sebagaimana dirinci pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Komponen

Bagian	Nama Komponen	Spesifikasi	Keterangan
Blok Input	Power Supply	Adaptor USB-C 5V DC 3A	Sumber daya tegangan 5V DC untuk mendukung pengoperasian seluruh komponen sistem secara stabil.
	Kamera Webcam	USB Webcam (Resolusi Full HD 1080p, Auto Low-Light Correction, 5V DC)	Menangkap gambar biji kopi secara real-time sebagai input sistem.
Blok Proses	Raspberry Pi 4	Raspberry Pi 4 Model B (RAM 8 GB, Pusat Quad-core ARM Cortex-A72 @ 1.5 GHz, 5V DC)	pengendali dan pemrosesan data yang menjalankan model CNN MobileNet-V2.
Blok Output	LCD 20x4 I2C	LCD 20x4 Karakter dengan Modul I2C (5V DC)	Media tampilan untuk menampilkan hasil identifikasi jenis dan mutu biji kopi.

Raspberry Pi 4 dipilih sebagai pusat pemrosesan karena memiliki prosesor quad-core ARM Cortex-A72 berkecepatan hingga 1,5 GHz serta mendukung sistem operasi berbasis Linux, sehingga mampu menjalankan model CNN MobileNet-V2 yang telah dilatih menggunakan TensorFlow dan disimpan dalam format .h5. Antarmuka USB, GPIO, HDMI, dan I2C yang dimiliki memudahkan integrasi dengan kamera webcam dan LCD. Desain fisik alat dirancang dalam bentuk kotak tertutup dengan kamera webcam yang diposisikan di atas wadah sampel, layar LCD 20x4 pada bagian depan, serta sambungan power supply pada sisi samping, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Alat

C. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dimulai dengan tahap pra-pemrosesan citra yang ditangkap kamera webcam, meliputi penyesuaian ukuran matriks citra dan stabilisasi warna piksel untuk meminimalkan pengaruh perubahan pencahayaan. Program deteksi dibangun menggunakan bahasa Python dengan model CNN MobileNet-V2 yang menganalisis ciri visual biji kopi secara real-time: bentuk lonjong dengan celah tengah melengkung diklasifikasikan sebagai Arabika, sedangkan bentuk bulat hingga elips dengan celah tengah relatif lurus diklasifikasikan sebagai Robusta. Setelah varietas ditentukan, sistem memeriksa gradasi warna dan cacat tekstur untuk menetapkan mutu fisik biji ke dalam tiga kategori, yaitu Grade 1, Grade 2, dan Grade 3, yang selanjutnya ditampilkan pada layar LCD 20x4 I2C.

Model CNN MobileNet-V2 dipilih karena mampu menyeimbangkan akurasi klasifikasi dan efisiensi komputasi melalui teknik depthwise separable convolution dan inverted residual with linear bottleneck, sehingga sesuai diterapkan pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti Raspberry Pi 4 . Dataset penelitian terdiri atas citra biji kopi Arabika dan Robusta yang dikelompokkan ke dalam tiga kategori mutu. Setiap citra melalui tahap pra-pemrosesan berupa resize, normalisasi nilai piksel, dan pelabelan, kemudian dibagi menjadi data latih dan data uji untuk melatih serta mengevaluasi model . Model dengan performa terbaik disimpan dalam format .h5 lalu dikonversi ke format TensorFlow Lite (.tflite) yang lebih ringan agar dapat diimplementasikan pada Raspberry Pi 4 .

D. Dasar Penentuan Jenis dan Mutu Biji Kopi

Penentuan jenis biji kopi didasarkan pada ciri morfologi yang tampak pada citra digital, meliputi bentuk biji, ukuran relatif, pola belahan tengah (center cut), dan tekstur permukaan sebagaimana dirangkum pada Tabel 2 [9].

Tabel 1. Perbedaan Kopi Arabika dan Robusta

Karakteristik	Kopi Arabika	Kopi Robusta
Bentuk biji	Cenderung lonjong dan pipih	Cenderung lebih bulat dan tebal
Ukuran biji	Umumnya lebih besar	Umumnya lebih kecil
Belahan tengah	Melengkung menyerupai huruf S	Cenderung lurus
Permukaan biji	Lebih halus dan rata	Lebih kasar dan bertekstur
Bentuk keseluruhan	Oval memanjang	Bulat oval

Penilaian mutu biji kopi merujuk pada prinsip SNI 01-2907-2008 tentang Biji Kopi yang disederhanakan menjadi tiga kelas, yaitu Grade 1 (biji utuh, warna merata, tanpa cacat signifikan), Grade 2 (biji utuh dengan sedikit perubahan warna atau cacat ringan), dan Grade 3 (biji mengalami kerusakan fisik yang jelas seperti pecah, berlubang, atau menghitam) [9].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi Sistem

Tahap implementasi mengubah rancangan menjadi alat fisik yang siap diuji. Seluruh perangkat keras, meliputi Raspberry Pi 4, kamera webcam, dan layar LCD 20×4 I2C, dirakit dalam satu kotak panel sesuai skema elektronik yang telah dirancang, sekaligus disertai instalasi sistem operasi Linux pada kartu microSD serta program deteksi berbasis Python dengan pustaka OpenCV untuk pra-pengolahan citra dan TensorFlow untuk menjalankan model CNN MobileNet-V2. Wujud fisik akhir sistem ditunjukkan pada Gambar 3.

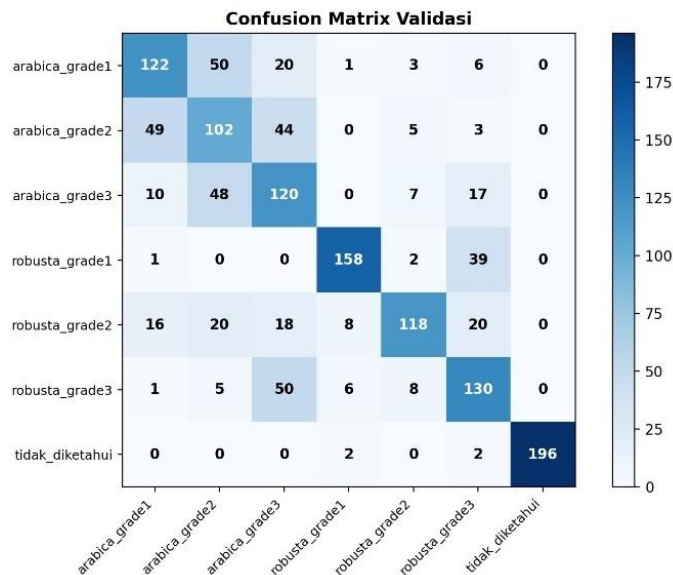


Gambar 3. Implementasi Alat

Perangkat dibungkus menggunakan kotak panel berwarna hitam yang melindungi komponen elektronik di dalamnya. Layar LCD tertanam pada bagian atas kotak untuk menyajikan hasil deteksi, sedangkan kamera webcam beserta modul pencahayaan tambahan dipasang pada penyangga di sisi atas guna menjaga kestabilan kualitas citra terhadap perubahan cahaya sekitar.

B. Pengujian dan Analisis Hasil

Proses pengujian sistem dimulai dengan pengecekan kelistrikan untuk memastikan pasokan daya tetap stabil selama perangkat beroperasi. Selanjutnya, uji fungsional dijalankan menggunakan sampel biji kopi Arabika dan Robusta yang masing-masing dibagi ke dalam tiga kelas mutu. Data pengujian diperoleh dari foto biji kopi yang diambil dengan kamera telepon seluler pada kondisi pencahayaan terkontrol, ditambah data sekunder berupa kumpulan citra dari repositori daring. Seluruh data tersebut sengaja tidak disertakan dalam proses pelatihan model agar hasil evaluasi benar-benar mencerminkan kemampuan generalisasi sistem secara objektif. Secara keseluruhan, sistem diuji melalui beberapa skenario pengujian berbasis visual, dengan hasil yang disajikan pada Gambar 4 dan Tabel 3 sampai 5. Setelah seluruh proses pelatihan dan pengujian selesai, sistem akan menampilkan matriks konfusi sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Matriks konfusi merupakan tabel evaluasi yang memetakan perbandingan antara kelas aktual (ground truth) pada baris dengan kelas hasil prediksi model pada kolom. Angka-angka pada diagonal utama menunjukkan jumlah prediksi yang benar, sedangkan nilai di luar diagonal menandai kesalahan klasifikasi. Melalui matriks ini, peneliti dapat menghitung metrik performa seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score, sekaligus mengidentifikasi kelas mana yang sering mengalami tumpang tindih fitur visual.



Gambar 4. *Confusion Matrix Validasi*

Merujuk pada matriks konfusi tahap validasi yang ditampilkan pada Gambar 3, model klasifikasi mutu biji kopi berhasil mengidentifikasi secara tepat 846 sampel dari keseluruhan 1.407 data uji. Kelas tidak_diketahui memperlihatkan performa paling menonjol dengan tingkat ketepatan 196 dari 200 sampel (98%), menandakan bahwa

proses pemisahan fitur non-kopi telah berlangsung secara sangat efektif. Untuk kelompok Robusta, hasil klasifikasi tergolong cukup baik pada robusta_grade1 (158 prediksi benar) dan robusta_grade3 (130 prediksi benar). Akan tetapi, kelemahan yang cukup kentara muncul pada robusta_grade3, di mana 50 sampel di antaranya keliru dikenali sebagai arabica_grade3 karena adanya kemiripan ciri visual antarvarietas. Sementara itu, kelompok Arabica menghadapi persoalan tumpang-tindih fitur yang lebih serius, terutama pada arabica_grade2 yang hanya mampu meraih 102 prediksi benar dari 203 sampel akibat banyak data yang tergelincir ke arabica_grade1 (49 sampel) maupun arabica_grade3 (44 sampel). Bila dicermati lebih lanjut, sebagian besar kekeliruan prediksi terkumpul pada tingkatan mutu yang bersebelahan dalam satu varietas, ditambah adanya sebaran prediksi menyimpang menuju robusta_grade3 (misalnya 39 sampel dari robusta_grade1 dan 20 sampel dari robusta_grade2). Pola ini mengisyaratkan bahwa model masih membutuhkan pembentukan batas keputusan yang lebih tegas agar mampu mengekstraksi perbedaan tekstur dan warna biji kopi secara lebih presisi.

Tabel 3 Pengujian Biji Kopi Robusta

No	Kategori Pengujian	Jenis Biji Kopi (Target)	Kualitas (Target)	Hasil Deteksi Sistem	Akurasi Pendeteksian (%)	Keterangan
1	Pengujian Robusta	Robusta	Grade 1	Robusta Grade 1	86%	Sesuai Sampel
2	Pengujian Robusta	Robusta	Grade 2	Robusta Grade 2	88%	Sesuai Sampel
3	Pengujian Robusta	Robusta	Grade 2	Robusta Grade 2	87%	Sesuai Sampel
4	Pengujian Robusta	Robusta	Grade 3	Robusta Grade 3	91%	Sesuai Sampel
5	Pengujian Robusta	Robusta	Grade 1	Arabika Grade 1	79%	Tidak Sesuai Sampel

Berdasarkan data pada tabel tersebut, evaluasi difokuskan pada lima skenario pengujian dengan sampel biji kopi Robusta. Sistem menunjukkan kinerja yang solid pada empat percobaan awal, di mana perangkat mampu mengenali varietas sekaligus kelas mutu—meliputi Grade 1, Grade 2 yang diuji dua kali, serta Grade 3—dengan tepat. Rentang persentase ketepatan pada bagian ini berada di angka 86%

hingga 91%. Capaian optimal diraih saat memproses sampel Grade 3 yang menyentuh angka 91%, mengisyaratkan bahwa karakteristik fisik biji pada kelas tersebut lebih mudah dipetakan oleh model. Namun, catatan khusus muncul pada skenario kelima yang menghasilkan prediksi keliru. Sampel yang semestinya terdeteksi sebagai Robusta Grade 1 justru diklasifikasikan sebagai Arabika Grade 1 dengan tingkat keyakinan 79%. Kekeliruan ini mengindikasikan adanya kemiripan ciri morfologis yang cukup tinggi antara kedua jenis biji kopi tersebut pada mutu yang sama. Walaupun salah mengenali jenisnya, sistem rupanya tetap berhasil mengidentifikasi tingkatan mutunya. Mengingat empat dari lima percobaan berjalan sesuai ekspektasi, persentase keberhasilan sistem pada kelompok pengujian Robusta ini tercatat sebesar 80%.

Tabel 4. Pengujian Biji Kopi Arabika

No	Kategori Pengujian	Jenis Biji Kopi (Target)	Kualitas (Target)	Hasil Deteksi Sistem	Akurasi Pendeteksian (%)	Keterangan
1	Pengujian Arabika	Arabika	Grade 1	Robusta Grade 1	79%	Tidak sesuai dengan sampel
2	Pengujian Arabika	Arabika	Grade 2	Arabika Grade 2	85%	Sesuai Sampel
3	Pengujian Arabika	Arabika	Grade 3	Robusta Grade 2	79%	Tidak sesuai dengan sampel
4	Pengujian Arabika	Arabika	Grade 3	Arabika Grade 3	89%	Sesuai Sampel
5	Pengujian Arabika	Arabika	Grade 1	Arabika Grade 1	88%	Sesuai Sampel

Evaluasi kinerja sistem pada kelompok sampel Arabika melibatkan lima skenario pengujian dengan persentase keberhasilan tercatat sebesar 60%. Dalam tiga percobaan yang berjalan mulus, perangkat mampu memetakan varietas beserta kelas mutunya secara presisi. Hal ini terbukti pada deteksi Arabika Grade 2 dan Grade 1 yang masing-masing mencatatkan skor keyakinan 85% dan 88%, serta capaian optimal 89% saat mengenali Arabika Grade 3. Akan tetapi, kelemahan model mulai terungkap pada

skenario pertama dan ketiga. Alih-alih mengidentifikasi jenis yang sebenarnya, sistem justru mengategorikan sampel Arabika Grade 1 sebagai Robusta Grade 1, sementara sampel Arabika Grade 3 keliru dibaca sebagai Robusta Grade 2. Menariknya, tingkat kepercayaan algoritma pada kedua prediksi yang meleset ini sama persis, yakni 79%. Fenomena tersebut mengisyaratkan bahwa fitur visual pada spesimen yang gagal deteksi memiliki kemiripan struktur yang mengecoh model, sehingga memicu tumpang tindih klasifikasi antarvarietas. Meskipun demikian, keberhasilan sistem mengenali sampel Grade 1 dan Grade 3 pada skenario keempat dan kelima membuktikan bahwa kemampuan dasar model sebenarnya sudah memadai, namun masih memerlukan penyempurnaan untuk meminimalisir kekeliruan akibat anomali visual pada citra tertentu.

Tabel 5. Pengujian Biji Campuran (Robusta & Arabika)

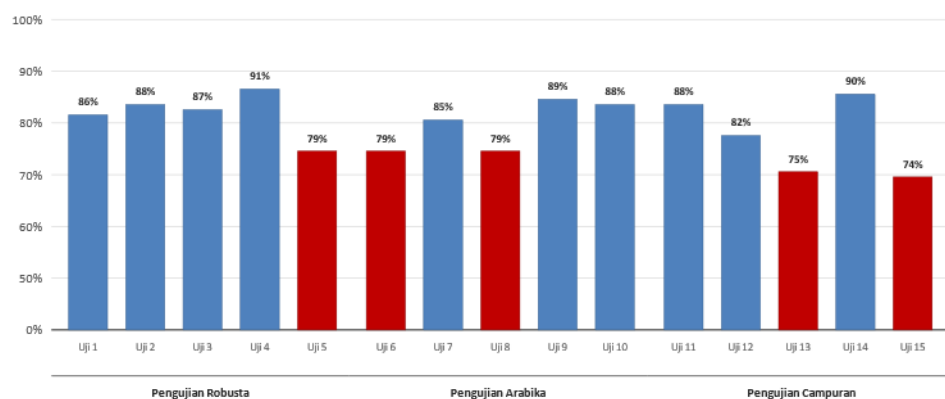
No	Kategori Pengujian	Sampel Biji Kopi	Kualitas (Target)	Hasil Deteksi	Akurasi Pendeteksian	Keterangan
1	Pengujian Campuran	Campuran (A + R)	Grade 1 & Grade 1	Arabika Grade 1/ Robusta Grade 1	88%	Sesuai Sampel
2	Pengujian Campuran	Campuran (A + R)	Grade 2 & Grade 2	Robusta Grade 2/ Arabika Grade 2	82%	Sesuai Sampel
3	Pengujian Campuran	Campuran (A + R)	Grade 3 & Grade 3	Robusta Grade 2/ Arabika Grade 3	75%	Eror Tidak Sesuai Sampel
4	Pengujian Campuran	Campuran (A + R)	Grade 1 & Grade 3	Robusta Grade 1/ Arabika Grade 3	90%	Sesuai Sampel
5	Pengujian Campuran	Campuran (A + R)	Grade 2 & Grade 3	Robusta Grade 1/ Arabika Grade 2	74%	Eror Tidak Sesuai Sampel

Pengujian dengan skenario campuran, yang menggabungkan biji kopi Arabika dan Robusta secara bersamaan, memperlihatkan dinamika performa sistem yang cukup berfluktuasi. Dari lima percobaan yang dijalankan, model sukses memilah kedua varietas beserta tingkatan mutunya secara presisi pada tiga skenario, dengan rentang keyakinan mencapai 82% hingga 90%. Capaian paling optimal tercatat saat memproses kombinasi Arabika Grade 1 dan Robusta Grade 3 yang menyentuh angka akurasi 90%. Kendati demikian, kompleksitas visual pada campuran biji kopi memicu kekeliruan klasifikasi pada dua pengujian lainnya. Pada skenario ketiga, saat kedua sampel berada pada mutu yang sama (Grade 3), sistem berhasil mengenali Arabika Grade 3 namun gagal mengidentifikasi Robusta Grade 3 yang justru dinilai sebagai Grade 2, sehingga akurasi merosot ke angka 75%. Kesalahan serupa terjadi pada skenario kelima yang menguji campuran Arabika Grade 2 dan Robusta Grade 3. Walaupun sistem tepat membaca Arabika Grade 2, algoritma kembali keliru memetakan Robusta Grade 3 menjadi Robusta Grade 1, yang membuat

tingkat kepercayaan menurun drastis hingga menyentuh angka 74%. Fenomena ini mengisyaratkan bahwa meskipun model mumpuni dalam membedakan varietas pada kondisi ideal, kehadiran dua jenis biji dalam satu citra secara bersamaan masih menjadi tantangan tersendiri, khususnya pada tingkatan mutu yang lebih rendah di mana ciri fisik biji Robusta rentan terdegradasi atau tertukar dengan kelas mutu di atasnya.

C. Grafik hasil Pengujian

Guna memberikan gambaran komprehensif mengenai unjuk kerja sistem dalam memproses berbagai kondisi sampel, hasil pengujian akurasi dari 15 skenario pengujians yang terbagi ke dalam tiga kelompok kategori (Pengujian Robusta, Pengujian Arabika, dan Pengujian Campuran) divisualisasikan pada Gambar [Nomor Gambar]. Diagram batang tersebut memetakan persentase akurasi pendeteksian pada setiap unit percobaan, sekaligus memberikan diferensiasi warna untuk membedakan antara pengujian yang menghasilkan klasifikasi sesuai target (batang biru) dan pengujian yang mengalami ketidaksesuaian atau kesalahan deteksi (batang merah). Melalui visualisasi ini, tingkat konsistensi serta persebaran performa model CNN MobileNet-V2 dalam mengenali jenis dan mutu biji kopi dapat diamati secara lebih terukur.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian

Pada kelompok pengujian Robusta (Uji 1 hingga Uji 5), sistem mencatatkan tingkat keberhasilan sebesar 80%, dengan tingkat akurasi tertinggi mencapai 91% pada sampel Robusta Grade 3. Sementara itu, pada kelompok pengujian Arabika (Uji 6 hingga Uji 10), sistem mencapai keberhasilan sebesar 60% dengan akurasi tertinggi sebesar 89% pada Arabika Grade 3. Adapun pada pengujian sampel campuran (Uji 11 hingga Uji 15) yang mengevaluasi kemampuan ekstraksi fitur ganda saat varietas Arabika dan Robusta diletakkan bersamaan, sistem tetap menunjukkan performa yang cukup stabil dengan pencapaian akurasi tertinggi sebesar 90% pada kombinasi Grade 1 & Grade 3. Kesalahan klasifikasi (error) yang terjadi pada beberapa sampel—seperti pada Uji 5, 6, 8, 13, dan 15—disebabkan oleh adanya kemiripan karakteristik visual (overlapping features) berupa tekstur, bentuk, serta batas warna antarvarietas maupun antar-grade. Meskipun demikian, tingkat akurasi yang dominan berada di atas 80% membuktikan bahwa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang mampu melakukan klasifikasi ciri fisik biji kopi secara mandiri (standalone) dan terukur di lapangan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan pengujian yang meliputi lima belas skenario evaluasi, sistem klasifikasi visual biji kopi ini mencatatkan tingkat keberhasilan global sekitar 67 persen, dengan performa paling optimal ditunjukkan pada pengujian sampel tunggal Robusta yang mencapai akurasi 80 persen. Capaian tersebut membuktikan bahwa algoritma cukup andal dalam mengekstraksi ciri morfologis biji Robusta pada kondisi terkontrol. Kendati demikian, reliabilitas sistem mengalami penurunan yang cukup signifikan saat dihadapkan pada sampel Arabika murni maupun campuran, di mana tingkat keberhasilan keduanya hanya menyentuh angka 60 persen. Kekeliruan klasifikasi pada skenario-skenario tersebut mayoritas dipicu oleh tingginya kemiripan fitur visual antarspesies pada tingkatan mutu yang setara, serta kompleksitas pemrosesan citra ketika dua varietas berbeda dihadirkan secara bersamaan dalam satu bingkai. Oleh karena itu, meskipun fondasi perangkat ini sudah memadai untuk kebutuhan sortasi dasar, penyempurnaan lebih lanjut mutlak diperlukan guna menajamkan ekstraksi fitur pembeda antarvarietas sekaligus meningkatkan ketahanan model terhadap anomali visual pada komposisi biji yang lebih rumit.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. E. Fitri, B. A. Syahbana, A. Madjid, and A. M. N. Imron, "Penerapan Fitur Warna dan Tekstur untuk Identifikasi Kerusakan Mutu Biji Kopi Arabika (*Coffea Arabica*) di Kabupaten Bondowoso," *J. Ilm. Teknol. Inf. Asia*, vol. 15, no. 2, pp. 123-128, 2021, doi: 10.32815/jitika.v15i2.593.
- [2] B. W. Ligar, "Review Identifikasi dan Klasifikasikan Biji Kopi Menggunakan Computer Vision," *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 11, no. 2, p. 243, 2023, doi: 10.26418/justin.v11i2.54925.
- [3] N. Setyowati, H. Ihsaniyati, and A. P. Sanjaya, "Sikap Petani terhadap Pengolahan Kopi Robusta Berbasis Indikasi Geografis di Kabupaten Temanggung," vol. 17, no. 02, pp. 218-227, 2021.
- [4] H. N. Nasution, R. Fauzi, and T. Hidayat, "Arabica, Robusta, Liberica, and Exalsa Coffee Bean Recognition System Using the S Yuleq Method," *J. Educ. Dev.*, vol. 10, no. 1, pp. 415-418, 2022. [Online]. Available: <http://journal.ipts.ac.id/index.php/ED/article/view/3472>
- [5] W. M. Kurniawan and K. Hastuti, "Penentuan Kualitas Biji Kopi Arabika Dengan Menggunakan Analytical Hierarchy Process," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, p. 519, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i2.1358.
- [6] J. Jumadi, Y. Yupianti, and D. Sartika, "Pengolahan Citra Digital Untuk Identifikasi Objek Menggunakan Metode Hierarchical Agglomerative Clustering," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.)*, vol. 10, no. 2, pp. 148-156, 2021, doi: 10.23887/jstundiksha.v10i2.33636.
- [7] M. R. Zulfikri et al., "Arabika Menggunakan Arsitektur MobileNetV2 Berbasis". A. Hibatullah and W. Apriandari, "Klasifikasi Kualitas Jenis Kopi Halus Robusta Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) dan MobileNet-V2," vol. 8, no. 5, pp. 8650-8657, 2024.
- [8] M. Murinto, M. Rosyda, and M. Melany, "Klasifikasi Jenis Biji Kopi Menggunakan Convolutional Neural Network dan Transfer Learning pada Model VGG16 dan MobileNetV2," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.)*, vol. 7, no. 2, p. 183, 2023, doi: 10.30595/jrst.v7i2.16788.
- [9] M. P. Sirappa, R. Heryanto, and Y. R. Silitonga, "Standardisasi Pengolahan Biji Kopi Berkualitas," *War. BSIP Perkeb.*, vol. 2, no. 1, pp. 18-25, 2024.