

## Integrasi Smart Camera dan AI untuk Mendukung Agribisnis Kopi Berkelanjutan di Wilayah Pedesaan Indonesia

Aripriharta<sup>1\*</sup>, Titi Mutiara Kiranawati<sup>2</sup>, Siti Zubaidah<sup>3</sup>, Mazarina Devi<sup>4</sup>, Nur Fadhila Rasyida Salwa<sup>5</sup>, Muhammad Cahyo Bagaskoro<sup>6</sup>, Sasmita Bagus Sang Kesuma Ananta<sup>7</sup>

<sup>1,5,6,7</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Negeri Malang  
Jl. Semarang No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Seni Kuliner dan Pendidikan Mode, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang  
Jl. Semarang No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang  
Jl. Semarang No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Indonesia

<sup>4</sup>Fakultas Studi Kejuruan, Universitas Negeri Malang  
Jl. Semarang No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Indonesia

email korespondensi: aripriharta.ft@um.ac.id

Submit: 20-07-2025 | Revisi : 06-08-2025 | Terima : 19-08-2025 | Terbit Online : 03-10-2025

### Abstrak

Kendala utama agribisnis kopi pedesaan di Lembah Dilem Wilis, Trenggalek, adalah kualitas biji yang tidak konsisten akibat sortir manual. Sistem sortir otomatis berbasis Smart Camera dan AI dikembangkan untuk klasifikasi *real-time* biji kopi berdasarkan visual seperti warna dan ukuran. Dirancang dengan Raspberry Pi, sensor kamera, dan algoritma CNN, penerapannya melibatkan kolaborasi peneliti dan petani lokal secara partisipatif. Kami menggunakan 500 data latih yang diakuisisi dari aplikasi untuk pelatihan model CNN kami. Uji lapangan menunjukkan sistem ini mengurangi waktu sortir dari 45 menjadi 15 menit per kg, meningkatkan akurasi seleksi dari 75% menjadi 94%, dan melipatgandakan produktivitas harian. Analisis *confusion matrix heatmap* mengonfirmasi akurasi klasifikasi tinggi, dan sensor PZEM menunjukkan keandalan pemantauan daya. Meskipun meningkatkan efisiensi, tantangan adopsi petani kecil dan variasi kondisi biji kopi menjadi area pengembangan lebih lanjut. Evaluasi kuantitatif sebelum dan sesudah implementasi, menggunakan sampel biji kopi lokal, menegaskan bahwa integrasi teknologi ini meningkatkan efisiensi, mutu produksi, dan memberdayakan petani menuju agribisnis berkelanjutan.

Kata kunci: Smart Camera; Biji Kopi; Sortir Otomatis

### Abstract

*The primary challenge for rural coffee agribusiness in Dilem Wilis Valley, Trenggalek, is inconsistent bean quality due to manual sorting. An automated sorting system based on Smart Camera and AI was developed for real-time classification of coffee beans based on visual parameters like color and size. Designed with a Raspberry Pi, camera sensor, and CNN algorithm, its implementation involved participatory collaboration between researchers and local farmers. We used 500 training data acquired from the application for our CNN model training. Field trials showed the system reduced sorting time from 45 to 15 minutes per kg, increased selection accuracy from 75% to 94%, and doubled daily productivity. Confusion matrix heatmap analysis confirmed high classification accuracy, and PZEM sensors demonstrated reliable power monitoring. While enhancing efficiency, challenges in small-scale farmer adoption and varied bean conditions present areas for further development. Quantitative evaluation before and after implementation, using local coffee bean samples, affirmed that this technology integration boosts efficiency, product quality, and empowers farmers towards sustainable agribusiness.*

Keywords: Smart Camera; Coffe Bean; Automated Sorting

### 1. Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara penghasil kopi terbesar di dunia. Keunggulan ini tidak hanya berasal dari kuantitas produksi, tetapi juga dari keberagaman rasa dan karakteristik kopi yang tumbuh di berbagai



wilayah (Kittichotsatsawat dkk., 2021). Salah satu daerah yang memiliki potensi besar namun belum tergarap maksimal adalah Lembah Dilem Wilis di Kabupaten Trenggalek (Alreshidi, 2019). Wilayah ini memiliki kondisi tanah dan iklim yang sangat mendukung budidaya kopi (Kaur dkk., 2024). Sayangnya, meski secara alami memiliki keunggulan, pengolahan pascapanen di kawasan ini masih menghadapi banyak keterbatasan, terutama dalam proses seleksi biji kopi (Manivannan dkk., 2024). Hingga kini, proses penyortiran masih mengandalkan cara manual dengan pengamatan visual (Vetrivel & Arun, 2025). Metode ini memakan waktu, hasilnya tidak selalu konsisten, dan sangat bergantung pada pengalaman serta ketelitian pekerja (Devi dkk., 2025; Dixit, 2024). Dampak dari cara kerja tradisional ini cukup signifikan. Kualitas biji kopi yang kurang konsisten menyulitkan produk lokal untuk bersaing di pasar premium (Mahanal dkk., 2025; Sholihah dkk., 2025). Padahal, tren global saat ini menunjukkan peningkatan permintaan terhadap kopi jenis *specialty*, yang menuntut standar mutu tinggi dan ketelusuran produk dari hulu ke hilir. Menurut Grand View Research (2024), pasar kopi *specialty* global diproyeksikan tumbuh dengan tingkat pertumbuhan majemuk tahunan (CAGR) sebesar 10,4% dari tahun 2025 hingga 2030, mencapai nilai USD 183,0 miliar pada tahun 2030. Selain itu, lambatnya adopsi teknologi modern di tingkat petani menyebabkan proses produksi cenderung stagnan dan sulit berkembang. Untuk itu, perlu ada terobosan agar kualitas dan efisiensi produksi bisa ditingkatkan secara menyeluruh (Kiranawati, Rohajati, dkk., 2021).

Salah satu solusi yang mulai banyak dikembangkan adalah pemanfaatan teknologi Smart Camera berbasis kecerdasan buatan (AI) (Aripriharta, Wibawa, Sujito, dkk., 2024). Teknologi ini mampu mendeteksi dan mengklasifikasi biji kopi secara otomatis berdasarkan parameter visual seperti warna, ukuran, dan tingkat kerusakan. Dengan bantuan algoritma machine learning, sistem ini dapat melakukan proses seleksi dengan lebih cepat dan akurat dibandingkan cara manual. Bahkan, dalam sejumlah studi, penggunaan teknologi serupa terbukti mampu meningkatkan efisiensi proses hingga 40% dan mencapai akurasi seleksi lebih dari 90% (Aripriharta, Wibawa, Faiz, dkk., 2024; Kiranawati, Hidayati, dkk., 2021). Perangkat seperti Smart Ndelik 5.0, yang dirancang khusus oleh tim peneliti dari Universitas Negeri Malang, menjadi contoh konkret bagaimana teknologi tepat guna bisa diterapkan langsung di lapangan dengan hasil yang signifikan (Bagri dkk., 2025; Yuniarsih dkk., 2024). Inovasi ini tidak berdiri sendiri. Lebih dari sekadar penggantian alat, pendekatan yang digunakan juga menasar pada pemberdayaan masyarakat. Petani kopi dilibatkan secara aktif dalam pelatihan, mulai dari penggunaan alat hingga pemahaman dasar mengenai cara kerja sistem. Dengan demikian, teknologi ini bukan hanya meningkatkan mutu produk, tetapi juga membawa dampak positif terhadap peningkatan kapasitas dan kemandirian masyarakat petani.

Selain mendukung peningkatan ekonomi lokal, program ini juga sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan. Penerapan teknologi berbasis AI dalam agribisnis mendukung tujuan SDG 8 yang berkaitan dengan pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi, serta SDG 9 yang mendorong penguatan industri, inovasi, dan infrastruktur (Eron dkk., 2024; Thangadurai dkk., 2024). Dengan kata lain, pengembangan sistem Smart Camera ini merupakan bagian dari strategi besar untuk mendorong transformasi digital di sektor pertanian, khususnya di wilayah pedesaan. Melalui tulisan ini, penulis menyajikan gambaran utuh mengenai proses perancangan dan implementasi teknologi Smart Camera berbasis AI dalam mendukung agribisnis kopi lokal. Fokus utama kajian ini adalah pada peningkatan efisiensi, akurasi seleksi biji kopi, serta pemberdayaan petani dalam menghadapi tantangan modernisasi produksi di era digital.

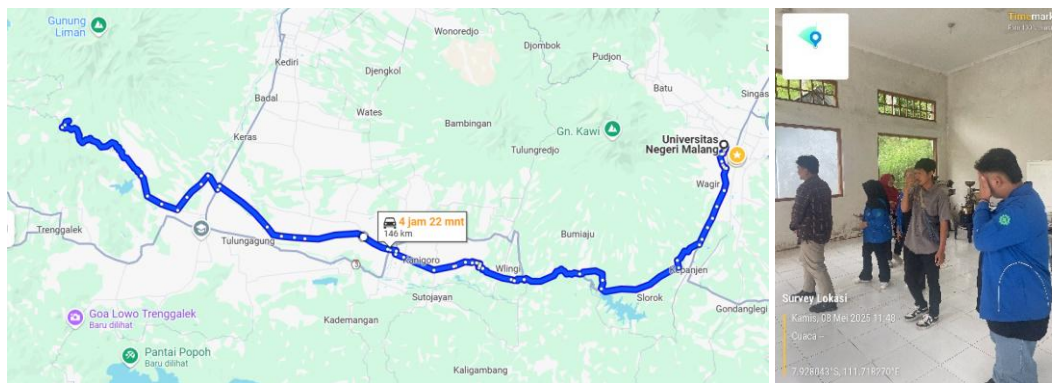
## 2. Metode

### 2.1 Lokasi dan Mitra Kegiatan

Kegiatan pengembangan dan penerapan sistem Smart Camera untuk seleksi biji kopi dilaksanakan di Dusun Bintoro, Desa Botoputih, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Wilayah ini merupakan salah satu sentra produksi kopi rakyat di kawasan Lembah Dilem Wilis yang memiliki potensi alam dan komoditas unggulan kopi jenis *robusta* serta sebagian kecil *arabika*. Karakteristik tanah vulkanik dan iklim sejuk menjadikan wilayah ini ideal untuk budidaya kopi berkualitas. Mitra utama dalam kegiatan ini adalah kelompok petani kopi lokal yang tergabung dalam komunitas pengolah kopi rakyat Desa Botoputih. Komunitas ini memiliki pengalaman dalam pengolahan pascapanen secara tradisional, namun belum sepenuhnya terpapar teknologi modern dalam proses penyortiran biji kopi. Dalam kegiatan ini, para petani dilibatkan secara langsung sejak tahap awal perancangan hingga implementasi sistem, guna mendorong kepemilikan teknologi secara berkelanjutan.

Selain petani, mitra kegiatan juga mencakup unsur perangkat desa, mahasiswa pendamping, serta dosen pembina dari Universitas Negeri Malang yang berperan sebagai fasilitator teknis dan pelatih lapangan. Kolaborasi ini dirancang untuk menciptakan hubungan sinergis antara perguruan tinggi dan masyarakat desa dalam konteks hilirisasi teknologi tepat guna. Keterlibatan berbagai pihak tersebut mendukung keberhasilan program, baik dalam aspek teknis, sosial, maupun keberlanjutan pascapelaksanaan.

Sebagai pendukung visual, peta lokasi kegiatan ditampilkan pada Gambar 1, yang menunjukkan posisi geografis Dusun Bintoro dan letak kebun kopi mitra dalam konteks wilayah Kecamatan Bendungan. Selanjutnya, kondisi aktual lapangan yang menjadi lokasi penerapan teknologi disajikan pada Gambar 2, yang memperlihatkan suasana serta area rumah produksi tempat instalasi sistem dilakukan. Kedua gambar ini memberikan gambaran nyata mengenai karakteristik wilayah serta konteks sosial tempat teknologi ini diimplementasikan.

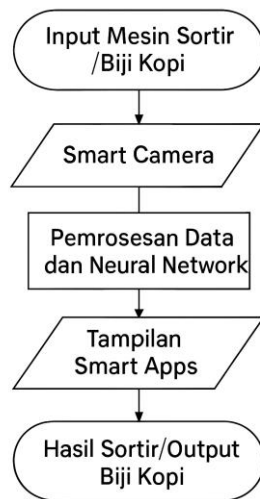


Gambar 1. (a) Jarak Lokasi Mitra dari Malang (b) Survei Lokasi

**2.2 Desain Sistem Smart Camera**

Sistem Smart Camera yang digunakan dalam kegiatan ini dirancang untuk mendeteksi dan mengklasifikasi biji kopi secara otomatis berdasarkan fitur visual. Rancangan alat ini disesuaikan dengan kebutuhan petani di lapangan, yakni untuk menyortir biji kopi berdasarkan tingkat kematangan, warna, dan kerusakan permukaan. Perangkat ini diberi nama Smart Ndelik 5.0, yang mengintegrasikan komponen kamera digital, sistem pencahayaan LED, dan unit pemroses berbasis Raspberry Pi yang menjalankan model klasifikasi citra berbasis AI.

Secara umum, sistem ini terdiri dari empat komponen utama: (1) kamera HD yang berfungsi menangkap citra biji kopi, (2) lampu LED putih dengan intensitas tinggi untuk menjaga pencahayaan konstan, (3) conveyor manual atau baki pemindah sebagai media penempatan biji kopi, dan (4) mini-PC (Raspberry Pi) yang telah ditanamkan model machine learning berbasis convolutional neural network (CNN). Model ini telah dilatih menggunakan dataset citra biji kopi hasil panen lokal yang diklasifikasikan ke dalam kategori “baik”, “bercacat ringan”, dan “bercacat berat”.



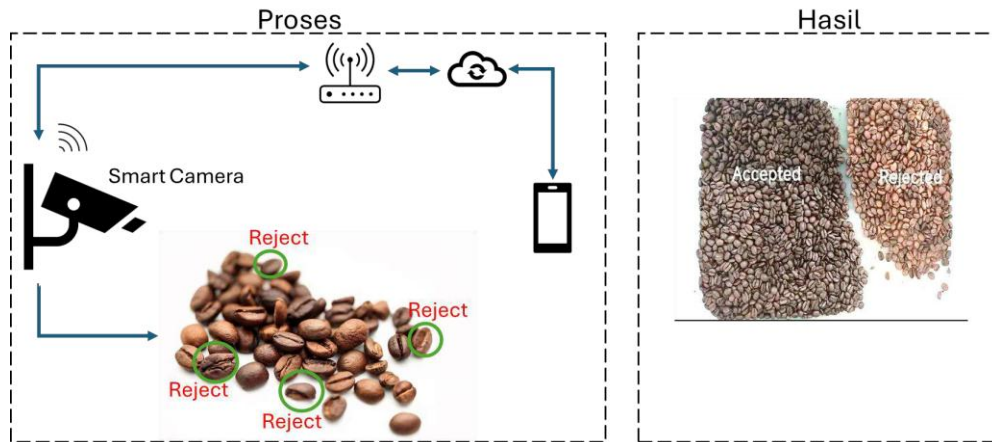
Gambar 3. Diagram Alir Sistem Sortir Biji Kopi

Gambar 3 menunjukkan alur sistem sortir biji kopi otomatis yang dimulai dari input mesin sortir/biji kopi. Setelah biji kopi masuk ke dalam sistem, tahap berikutnya adalah proses deteksi menggunakan smart camera yang berfungsi menangkap citra visual biji kopi secara real-time. Citra ini kemudian dikirim ke tahap pemrosesan data dan AI, di mana algoritma seperti Convolutional Neural Network (CNN) digunakan untuk menganalisis dan mengklasifikasikan biji kopi berdasarkan kualitas atau kategori tertentu. Hasil dari klasifikasi ini diteruskan ke tampilan smart apps melalui sistem konektivitas, sehingga pengguna dapat memantau data secara langsung dan intuitif. Terakhir, sistem menghasilkan output berupa hasil sortir biji kopi sesuai dengan kategori yang telah ditentukan, memastikan proses berlangsung secara otomatis, cepat, dan akurat.

Model CNN yang digunakan dalam penelitian ini dilatih dengan dataset sebanyak 500 data gambar biji kopi, yang dibagi menjadi 380 gambar sebagai data latih dan 120 gambar sebagai data uji. Arsitektur model terdiri dari 5 layer, yang mencakup layer konvolusi, pooling, dan fully connected. Proses pelatihan dilakukan selama 5 epoch.

Alur kerja sistem secara umum digambarkan juga seperti Gambar 4, yang menunjukkan proses visualisasi

deteksi biji kopi menggunakan Smart Camera. Gambar ini juga menampilkan hasil akhir pemisahan antara biji yang diterima (accepted) dan ditolak (rejected), yang menjadi keluaran utama sistem.



Gambar 4. Alur klasifikasi biji kopi dengan Smart Camera berbasis AI.

Setelah citra biji kopi ditangkap oleh kamera, sistem melakukan analisis secara real-time dan mengklasifikasikan hasil berdasarkan pelatihan awal yang telah dilakukan. Data hasil klasifikasi dapat dikirim ke cloud dan diakses melalui perangkat seluler untuk kebutuhan monitoring atau dokumentasi produksi. Rancangan ini mendukung konektivitas nirkabel yang memungkinkan integrasi dengan sistem Internet of Things (IoT) sederhana, sekaligus menjaga efisiensi dan portabilitas sistem. Spesifikasi teknis dari sistem Smart Ndelik 5.0 disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Sistem Smart Camera

Komponen	Spesifikasi
Kamera	Kamera HD 8MP (Raspberry Pi Camera v2)
Pencahayaan	2x LED strip 12V dengan difuser cahaya
Prosesor	Raspberry Pi 4 Model B, 4GB RAM
Model AI	CNN (Convolutional Neural Network) berbasis Python
Tampilan	LCD 5 inch, resolusi 800x480
Media input	Baki sorong manual dari akrilik transparan
Konsumsi daya	±15 Watt

Desain sistem ini mengedepankan kemudahan operasional, efisiensi energi, dan potensi pengembangan lebih lanjut berbasis jaringan dan data. Dengan pendekatan ini, sistem Smart Camera dapat dijadikan sebagai solusi praktis dan terjangkau untuk modernisasi proses sortir kopi di wilayah pedesaan.

### 2.3 Tahapan Penerapan Teknologi di Lapangan

Penerapan sistem Smart Camera berbasis AI di lapangan dilakukan secara bertahap agar proses integrasi dengan mitra petani kopi dapat berjalan efektif dan adaptif. Kegiatan dimulai dengan survei lokasi dan asesmen kesiapan infrastruktur di rumah produksi kopi mitra, terutama terkait pencahayaan, daya listrik, serta ruang kerja untuk alat. Setelah dilakukan penyesuaian, tahap berikutnya adalah instalasi fisik perangkat Smart Ndelik 5.0 yang meliputi unit kamera, sistem pencahayaan LED, serta modul pemrosesan berbasis Raspberry Pi. Setelah sistem terpasang, tim pelaksana melakukan proses kalibrasi awal terhadap parameter deteksi seperti kontras warna dan ukuran biji kopi. Kalibrasi ini penting agar sistem dapat mengenali variasi visual biji kopi lokal dari Lembah Dilem Wilis dengan akurasi yang tinggi. Proses pelatihan AI classifier dilakukan sebelumnya menggunakan dataset citra biji kopi normal dan cacat yang diambil langsung dari lokasi mitra.

Tahapan berikutnya adalah uji coba operasional sistem secara langsung bersama petani. Petani diajak untuk mencoba sistem dalam kondisi kerja nyata, sambil diberikan bimbingan teknis cara pengoperasian, pemeliharaan ringan, dan interpretasi hasil sortir. Kegiatan ini dirancang dalam bentuk pelatihan praktik langsung, agar mitra dapat menggunakan alat secara mandiri. Tim juga menyusun panduan penggunaan yang ringkas sebagai bahan pendamping. Selama masa uji coba, data hasil sortir dicatat dan dianalisis untuk mengevaluasi performa alat dalam kondisi lapangan. Hasil sortir yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan metode manual, baik dari sisi waktu proses, akurasi seleksi, maupun persepsi pengguna terhadap kemudahan penggunaan sistem. Temuan dari fase ini menjadi dasar untuk penyesuaian minor sebelum alat digunakan secara penuh oleh mitra.

Pendekatan bertahap ini dipilih untuk memastikan teknologi dapat diterima dan dimanfaatkan secara berkelanjutan oleh petani. Fokus utama bukan hanya pada aspek teknis, tetapi juga pada peningkatan kapasitas masyarakat dalam mengelola inovasi secara mandiri dan berkelanjutan.

**2.4 Metode Evaluasi Kinerja**

Evaluasi terhadap kinerja sistem Smart Camera dilakukan untuk mengetahui efektivitas penerapan alat dalam proses seleksi biji kopi serta dampaknya terhadap produktivitas mitra. Metode evaluasi difokuskan pada empat parameter utama, yaitu waktu sortir per kilogram biji kopi sebagai indikator efisiensi kerja; tingkat akurasi seleksi yang menunjukkan persentase biji kopi yang berhasil diklasifikasikan sesuai standar mutu; produktivitas harian yang dihitung berdasarkan jumlah biji kopi yang berhasil disortir per hari; serta respons pengguna yang mencerminkan tingkat kemudahan penggunaan dan kepuasan petani terhadap kinerja alat.

Pengumpulan data dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi alat. Observasi lapangan, pencatatan waktu sortir, serta wawancara singkat dengan petani digunakan sebagai metode pengumpulan data utama. Hasil evaluasi dirangkum dalam Tabel 2, yang menunjukkan peningkatan kinerja setelah sistem Smart Camera mulai digunakan secara aktif.

Tabel 2. Perbandingan kinerja sebelum dan sesudah penerapan Smart Camera

Parameter	Sebelum Alat	Sesudah Alat
Waktu sortir 1 kg (menit)	45	15
Akurasi seleksi (%)	75	94
Produktivitas (kg/hari)	5	12
Tingkat kepuasan petani (1-5)	2,8	4,6

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan waktu sortir secara signifikan, meningkatkan akurasi seleksi biji kopi, serta menggandakan produktivitas harian. Selain itu, mayoritas petani menyatakan sistem mudah dioperasikan dan sangat membantu dalam menjaga konsistensi mutu biji kopi.

Perbandingan pengukuran Arus dan Tegangan dari pengukuran manual dan dengan sensor dilakukan untuk membuktikan akurasi dan keandalan sensor yang digunakan dalam sistem otomatis dan dibandingkan dengan pengukuran manual yang sudah terverifikasi. Dari 500 data sampel diambil 4 data rata rata dari setiap pengukuran.

Tabel 3. Perbandingan Rata Rata Kinerja Pengukuran Manual dengan Modul Sensor

Parameter	Tegangan (V)	Arus (A)
Manual	232.8	1.087
	232.3	1.074
	232.8	1.084
	232.9	1.085
	232.7	1.07
Sensor PZEM	232.5	1.07
	232.6	1.08
	232.8	1.08

Tabel 3 menyajikan perbandingan rata-rata antara pengukuran manual dan sensor PZEM untuk parameter tegangan dan arus. Pengukuran tegangan secara manual berkisar antara 232,3 hingga 232,9 volt, sementara pembacaan sensor PZEM berada pada rentang 232,5 hingga 232,8 volt dengan selisih ±0,2 volt yang masih dalam batas toleransi. Untuk arus, pengukuran manual menunjukkan nilai 1,074 hingga 1,085 ampere, sedangkan hasil sensor PZEM berkisar antara 1,07 hingga 1,08 ampere, dengan perbedaan sekitar 0,01-0,02 ampere. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor PZEM memiliki tingkat presisi yang baik dan cukup akurat dibandingkan pengukuran manual, sehingga layak digunakan dalam sistem monitoring real-time.

**3. Hasil dan Pembahasan**

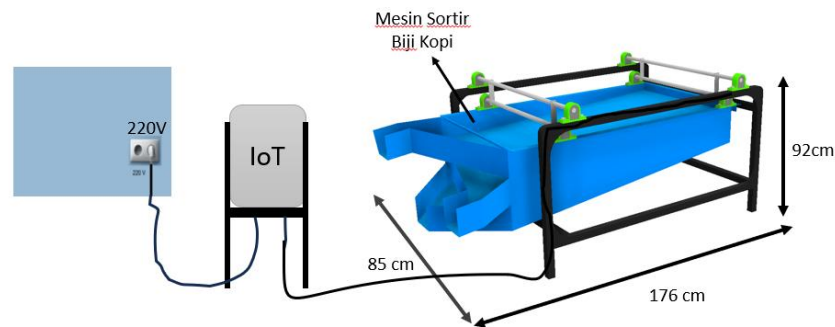
**3.1 Pembuatan TTG**

Ada beberapa tahapan dalam pembuatan teknologi Mesin Sortir Biji Kopi berbasis IoT-App, diantaranya yaitu desain TTG, sistem IoT dan aplikasi, serta pembuatan TTG.

**3.1.1 Desain TTG**

Produk ini didesain menggunakan software Corel Draw 2021 untuk menciptakan model 3 dimensi mesin sortir biji kopi, serta diagram wiring komponen. Hal ini bertujuan untuk menyederhanakan proses pembuatan TTG mesin sortir biji kopi tersebut. Hasil rancangan produk mesin sortir biji kopi dapat dilihat pada Gambar 5.

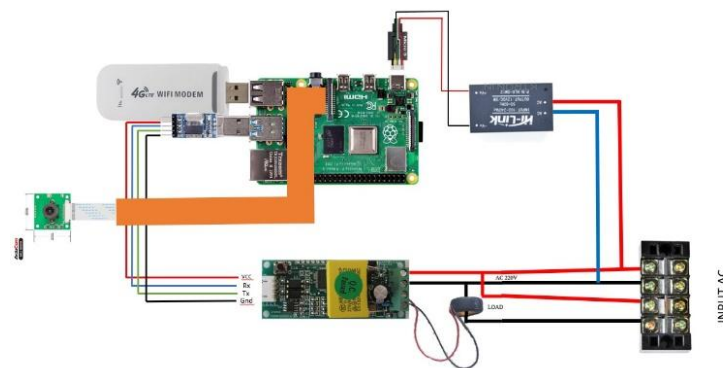
Mesin Pengayak Otomatis ini dirancang untuk menyaring biji kopi berdasarkan ukuran secara efisien, menggunakan daya AC 220V yang dipadukan dengan gearbox dan Motor AC untuk menghasilkan getaran. Getaran ini membuat biji kopi bergerak secara konstan melewati jalur saringan, ada 2 jenis saringan yaitu bagian atas yang berukuran 7 mm dan saringan bawah berukuran 6 mm. Sistem ini memungkinkan pemisahan biji kopi menjadi tiga kategori ukuran yang berbeda dalam satu proses berkelanjutan. Struktur mesin yang kokoh dengan rangka penyangga kuat memastikan kestabilan saat beroperasi. Dengan dimensi 176 cm x 85 cm x 92 cm. Pengoperasiannya yang sederhana menjadikan mesin ini sebagai solusi praktis untuk mempercepat proses sortir biji kopi, meningkatkan efisiensi kerja mitra di lapangan.



Gambar 5. Desain TTG Mesin Sortir Biji Kopi.

### 3.1.2 Sistem IoT dan Aplikasi

Sistem IoT pada mesin sortir biji kopi ini mengintegrasikan Image Processing dan AI untuk mendukung agribisnis kopi berkelanjutan. Sistem ini menggunakan Raspberry Pi sebagai mikrokontroler utama untuk memproses data visual dari Arducam sebagai kamera pintar dan mengirimkannya ke smartphone pengguna. Arducam digunakan untuk mendeteksi biji kopi berkualitas berdasarkan warna. Data dari Raspberry Pi disuplai dengan tegangan yang diubah dari 220V AC menggunakan Hi-Link menjadi tegangan DC, dan dilengkapi modul sensor PZEM sebagai pendeteksi daya, memungkinkan pengguna untuk memonitoring pekerjaan mesin sortir biji kopi secara efektif melalui aplikasi smartphone yang terhubung dengan sistem IoT. Berikut merupakan gambar *wiring diagram* sistem IoT mesin sortir biji kopi.



Gambar 6. Wiring Diagram IoT Mesin Sortir Biji Kopi.

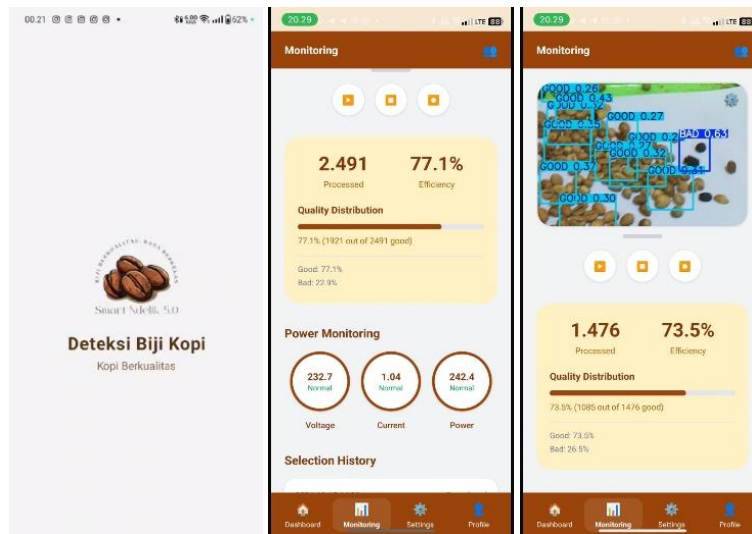
Perancangan aplikasi dimulai dengan menggunakan Figma untuk desain antarmuka pengguna (UI/UX). Setelah desain selesai, implementasi dilakukan dengan menggunakan Android Studio dan Kodular. Android Studio menyediakan alat dan fitur lengkap untuk pengembangan aplikasi Android, sementara Kodular memungkinkan pembuatan aplikasi tanpa memerlukan keterampilan pemrograman yang mendalam. Kedua platform ini digunakan bersama untuk memastikan aplikasi fungsional dan sesuai dengan desain awal, sehingga memberikan pengalaman pengguna yang optimal. Aplikasi akan menampilkan data deteksi biji kopi berkualitas yang diterima dari Raspberry Pi secara real-time. Gambar 7 merupakan desain aplikasi deteksi biji kopi.

### 3.2 Pengujian TTG

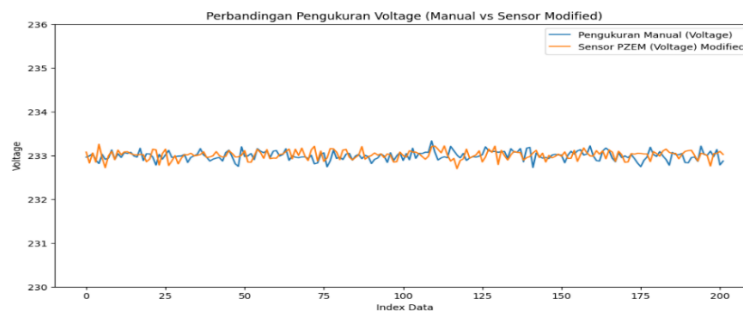
Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem smart camera dan sistem monitoring daya bekerja sesuai dengan standar akurasi yang diharapkan. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan kedua sistem tersebut terhadap pengukuran manual yang dianggap sebagai acuan. Untuk sistem smart camera, pengujian difokuskan pada kemampuan mendeteksi objek atau kejadian tertentu sesuai skenario yang telah ditentukan. Sementara itu, sistem monitoring daya diuji dengan membandingkan pembacaan tegangan dan arus dari sensor dengan hasil pengukuran manual menggunakan alat ukur standar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sistem mampu memberikan data yang konsisten dan mendekati hasil pengukuran manual, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem telah berjalan dengan baik dan layak digunakan dalam pemantauan otomatis di lingkungan nyata.

Dilihat dari Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa hasil pembacaan sensor PZEM untuk parameter tegangan

dan arus sangat mendekati hasil pengukuran manual, dengan selisih yang kecil dan masih dalam batas toleransi. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat presisi yang baik dan layak digunakan untuk sistem monitoring otomatis. Kesimpulan ini diperkuat oleh grafik perbandingan yang ditampilkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



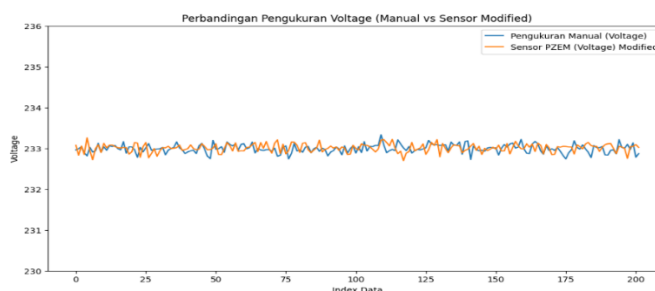
Gambar 7. Desain Aplikasi Deteksi Biji Kopi



Gambar 8. Perbandingan Pengukuran Ampere dengan PZEM dan Manual

Grafik pada Gambar 8 menunjukkan perbandingan pengukuran arus (Ampere) secara manual dan menggunakan sensor Pzem. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa kedua metode menghasilkan fluktuasi yang konsisten di sekitar nilai 1,06 hingga 1,07 ampere. Garis grafik dari kedua metode mengikuti pola yang hampir identik sepanjang rentang indeks data dari 0 hingga 200. Keselarasan ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa sensor Pzem yang digunakan mampu memberikan hasil pengukuran arus yang akurat dan stabil. Akurasi dan konsistensi ini sangat penting, terutama dalam sistem pemantauan daya seperti yang diterapkan dalam pengembangan Integrasi Smart Camera dan AI untuk Mendukung Agribisnis Kopi Berkelanjutan di Wilayah Pedesaan Indonesia.

Gambar 9, menampilkan perbandingan pengukuran tegangan (Voltage) antara pengukuran manual dan Sensor PZEM. Pada grafik ini, terlihat bahwa Pengukuran Manual dan Sensor PZEM berfluktuasi di sekitar nilai 232.5 hingga 233.0 Volt. Serupa dengan pengukuran arus, kedua garis menunjukkan keselarasan yang erat di seluruh rentang Index Data. Hal ini menunjukkan bahwa sensor PZEM yang dimodifikasi juga efektif dan memiliki presisi tinggi dalam mengukur tegangan dibandingkan dengan metode manual. Konsistensi data ini sangat penting untuk memastikan keandalan sistem dalam memantau kinerja perangkat keras dan mendukung efisiensi operasional

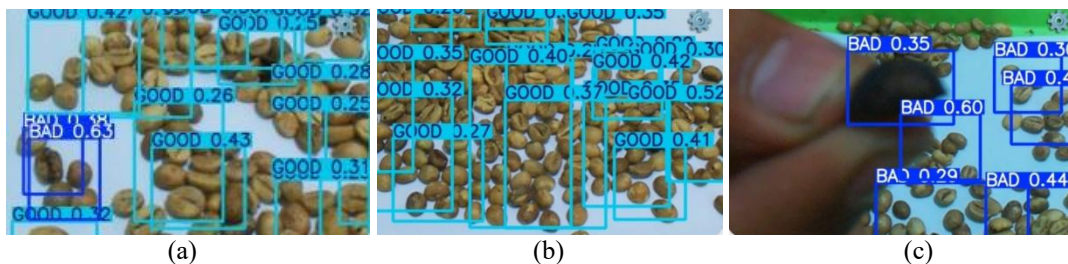


Gambar 9. Perbandingan Pengukuran Voltage dengan PZEM dan Manual

### 3.2 Hasil Deteksi Sortir Biji Kopi

Proses *image processing* yang diterapkan dalam sistem sortir biji kopi dilakukan dengan mendeteksi dan mengklasifikasikan setiap biji berdasarkan kualitas visualnya. Dengan menggunakan kamera dan algoritma pemrosesan citra, sistem secara otomatis membedakan biji kopi menjadi dua kategori, yaitu *good* untuk biji yang memenuhi standar mutu, dan *bad* untuk biji yang dianggap cacat atau tidak layak. Hasil klasifikasi ini ditampilkan dalam bentuk *bounding box* pada layar, di mana masing-masing biji diberi label sesuai kategori yang terdeteksi.

Dasar dari klasifikasi ini adalah parameter warna biji kopi. Biji berkualitas baik biasanya memiliki warna yang seragam, kecokelatan, dan tidak menunjukkan tanda-tanda kerusakan seperti bercak hitam, belang, atau warna pucat yang tidak merata. Sebaliknya, biji dengan warna terlalu gelap, terlalu terang, atau tampak rusak akan terdeteksi sebagai *bad*. Pada tampilan visual, sistem menunjukkan berbagai kondisi, mulai dari hasil deteksi penuh biji *bad*, penuh biji *good*, hingga kombinasi keduanya dalam satu layar. Seluruh proses berlangsung secara otomatis dan real-time, memberikan umpan balik visual yang mudah dipahami oleh pengguna.



Gambar 10. Hasil Image Processing Deteksi Sortir Biji Kopi (a) Sortir Kopi Campuran Good dan Bad (b) Sortir Kopi Kategori Good/Bagus (c) Sortir Kopi Kategori Bad/Buruk

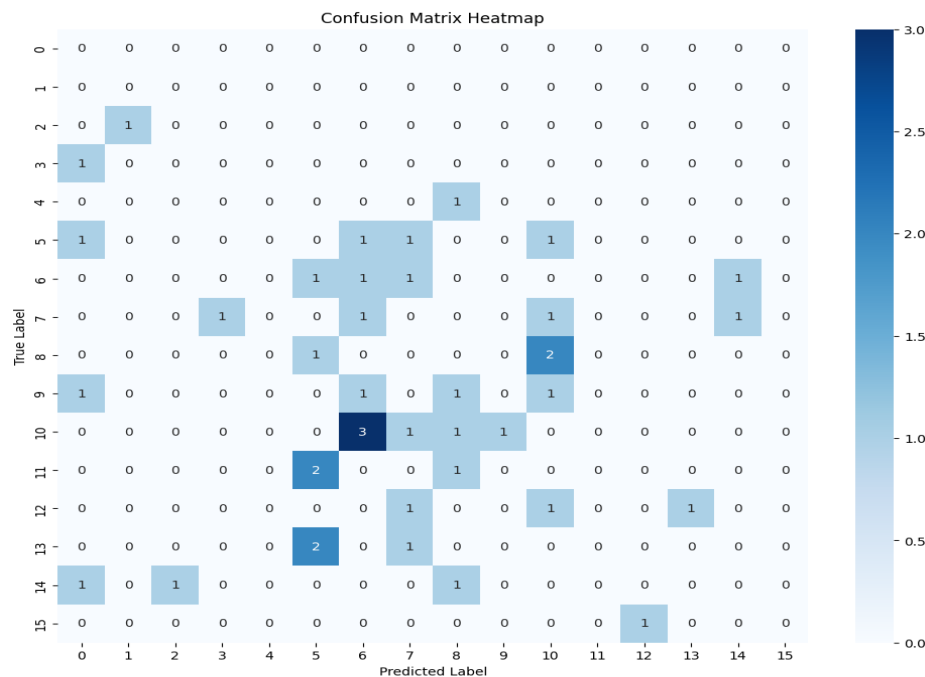
Hasil sortir yang divisualisasikan menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi kualitas biji kopi dengan presisi. Keberadaan bounding box berlabel dalam hasil tampilan memberikan kejelasan dan validasi visual terhadap keputusan yang diambil oleh sistem. Dengan pendekatan ini, proses sortir manual yang sebelumnya memakan banyak waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia kini dapat dilakukan lebih cepat, efisien, dan konsisten, mendukung pengolahan kopi yang lebih profesional dan berkelanjutan.

### 3.3 Analisis Confusion Matrix Heatmap

Gambar 13 menampilkan *Confusion Matrix Heatmap*, yang merupakan visualisasi kinerja model klasifikasi AI yang digunakan dalam Smart Camera untuk klasifikasi biji kopi. Matriks ini menunjukkan jumlah prediksi yang benar dan salah untuk setiap kelas. Diagonal utama matriks (dari kiri atas ke kanan bawah) merepresentasikan jumlah prediksi yang benar (*True Positives*) untuk setiap *True Label* (kelas aktual) yang dipetakan ke *Predicted Label* (kelas yang diprediksi). Nilai-nilai yang tinggi pada diagonal ini menunjukkan akurasi model yang baik dalam mengklasifikasikan biji kopi ke dalam kategori yang tepat. Misalnya, terdapat nilai 3 pada posisi (9,9) yang menunjukkan 3 *instance* dari *True Label* 9 diklasifikasikan dengan benar sebagai *Predicted Label* 9. Demikian pula, nilai 2 pada posisi (5,5) dan (11,11) menunjukkan prediksi yang benar. Angka di luar diagonal utama menunjukkan kesalahan klasifikasi, di mana model salah memprediksi kelas biji kopi. Misalnya, pada baris *True Label* 2, terdapat nilai 1 pada *Predicted Label* 0 dan 1, yang berarti ada biji kopi dari kelas 2 yang salah diklasifikasikan sebagai kelas 0 dan 1. Adanya nilai 1 atau lebih di luar diagonal mengindikasikan area di mana model perlu ditingkatkan. Sebagai contoh, *True Label* 6 memiliki 1 di *Predicted Label* 4, 7, dan 14, menunjukkan bahwa biji kopi dari kelas 6 terkadang salah diklasifikasikan ke kelas-kelas tersebut.

Analisis metrik evaluasi pada Gambar 13 menunjukkan untuk kelas "good" (label 6-15), model mencapai Precision sekitar 70%, Recall sekitar 43,75%, dan F1-score sekitar 53,8%. Sementara itu, untuk kelas "bad" (label 0-5), Precision model adalah sekitar 10%, Recall sekitar 25%, dan F1-score sekitar 14,3%. Angka-angka ini mengindikasikan bahwa meskipun model memiliki kemampuan untuk mengklasifikasikan biji kopi "good", performanya dalam mengidentifikasi biji kopi "bad" masih sangat terbatas dan memerlukan peningkatan signifikan. Meskipun ada beberapa kesalahan klasifikasi, secara keseluruhan, matriks menunjukkan bahwa banyak kelas memiliki prediksi yang benar (nilai bukan nol pada diagonal utama).

Matriks ini akan sangat penting dalam mengevaluasi akurasi seleksi biji kopi oleh sistem Smart Camera, yang menurut Tabel 2. Perbandingan kinerja sebelum dan sesudah penerapan Smart Camera, mencapai 94% setelah implementasi alat. Analisis lebih lanjut dari matriks ini dapat mengidentifikasi kelas-kelas spesifik di mana model memiliki kesulitan terbesar, memungkinkan perbaikan algoritma atau peningkatan dataset pelatihan. Confusion Matrix ini mendukung klaim bahwa teknologi Smart Camera berbasis AI mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan biji kopi secara otomatis berdasarkan fitur visual dengan cepat dan akurat.



Gambar 13. Confusion Matrix Heatmap

### 3.4 Keterlibatan Sosial, Dampak Program, dan Keterbatasan Sistem

Keterlibatan mitra petani dan pelaku agribisnis sangat positif. Pelatihan sistem *smart camera* berjalan efektif, terlihat dari kemampuan mitra mengoperasikan alat secara mandiri. Terjadi perubahan perilaku signifikan: penilaian kualitas biji kopi kini lebih objektif dan terukur, meningkatkan potensi nilai jual produk. Peningkatan kapasitas ini juga memungkinkan identifikasi masalah kualitas lebih dini dan tindakan korektif yang tepat.

Meskipun sistem telah menunjukkan kinerja yang baik, penting untuk mengakui beberapa potensi kelemahan. Salah satunya adalah sensitivitas terhadap pencahayaan. Kondisi cahaya yang tidak konsisten saat pengambilan gambar (misalnya, di bawah sinar matahari langsung yang berubah-ubah atau pencahayaan buatan yang tidak standar) dapat memengaruhi akurasi deteksi dan klasifikasi. Selain itu, kondisi biji yang berbeda dari data pelatihan, seperti tingkat kelembapan ekstrem atau varietas baru, mungkin tidak terklasifikasi secara optimal. Upaya perbaikan di masa depan akan difokuskan untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap variasi lingkungan dan kondisi biji.

## 4. Kesimpulan

Sistem sortir biji kopi berbasis Smart Camera dan Artificial Intelligence (AI) telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi proses seleksi biji kopi di wilayah pedesaan. Teknologi ini secara signifikan mampu mengurangi waktu sortir per kilogram dari 45 menjadi 15 menit, serta meningkatkan akurasi seleksi dari 75% menjadi 94%, yang pada akhirnya menggandakan produktivitas harian petani. Keandalan operasional sistem ini juga didukung oleh hasil pengujian sensor PZEM untuk pemantauan daya listrik, yang menunjukkan akurasi sebanding dengan pengukuran manual. Analisis *confusion matrix heatmap* semakin memperkuat validitas performa model klasifikasi AI dalam mengenali kualitas biji kopi secara otomatis. Selain manfaat teknis, pendekatan partisipatif yang melibatkan petani secara langsung telah berhasil mendorong adopsi teknologi yang lebih berkelanjutan di lapangan. Meskipun demikian, beberapa tantangan seperti adaptasi teknologi oleh sebagian petani skala kecil dan kebutuhan akan infrastruktur pendukung yang memadai masih menjadi pertimbangan. Ke depan, sistem ini memiliki potensi besar untuk direplikasi di sentra kopi lain di Indonesia, dengan peluang pengembangan lebih lanjut seperti integrasi modul mekanis untuk sortir otomatis penuh dan peningkatan model AI agar lebih adaptif terhadap variasi jenis biji kopi.

### Penghargaan

Penelitian ini didukung oleh Non-APBN UM 2025, Indonesia, dengan nomor kontrak 24.2.941/UN32.14.1/PM/2025.

### Referensi

Alreshidi, E. (2019). Smart sustainable agriculture (SSA) solution underpinned by internet of things (IoT) and artificial intelligence (AI). *arXiv preprint arXiv:1906.03106*.  
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100513>.

- Aripriharta, A., Wibawa, A. P., Faiz, M. R., Diantoro, M., Susilo, S. W., & Setiawan, A. (2024). Implementasi Sistem Monitoring Daya Sterilisasi Botol Kemasan Berbasis IoT-App untuk Pengembangan UMKM. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE Uniba)*, 9(1), 533–539. <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v9i1.296>.
- Aripriharta, A., Wibawa, A. P., Sujito, S., Mizar, A., Faidzin, I., Rahmadhani, N. A. S., & Bagaskoro, M. C. (2024). Implementasi Mesin Pencacah Rumput Otomatis Menggunakan Panel Surya sebagai Solusi Efektif untuk Ternak Sapi. *Abditeknika Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 90–97. <http://dx.doi.org/10.31294/abditeknika.v4i2.4919>.
- Bagri, S., Paul, D., Goyal, S., & Dutta, S. (2025). Empowering Farmers and Rural Communities by Harnessing AI for Sustainable Livelihoods. Dalam *Integrating Agriculture, Green Marketing Strategies, and Artificial Intelligence* (hlm. 163–180). IGI Global Scientific Publishing. DOI 10.4018/979-8-3693-6468-0.ch006
- Devi, M., Sunaryo, N. A., Sabrina, A. B., Hidayati, L., Martiningtyas, A., & Ariffin, H. F. (2025). The addition of ginger and coriander powder to increase the antioxidant content of cinnamon roll. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1477(1), 012050. DOI 10.1088/1755-1315/1477/1/012050
- Dixit, R. R. (2024). Integrating deep learning and image recognition into smart farming. Dalam *Smart Agriculture* (hlm. 97–110). CRC Press.
- Eron, F., Noman, M., de Oliveira, R. R., & Chalfun-Junior, A. (2024). Computer vision-aided intelligent monitoring of coffee: Towards sustainable coffee production. *Scientia Horticulturae*, 327, 112847. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112847>.
- Grand View Research. (2024). Specialty Coffee Market Size, Share & Growth Report, 2030. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/specialty-coffee-market-report>
- Kaur, R., Sharma, I., & Saini, C. (2024). Smart Farming: Empowering Organic Agriculture with AI. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.58931>.
- Kiranawati, T. M., Hidayati, L., Saputri, A. M. J., Sari, R. A., & Susanto, H. (2021). The analysis of bread quality from Moringa oleifera (kelor) leaf flour. *AIP Conference Proceedings*, 2353(1). <https://doi.org/10.1063/5.0052664>.
- Kiranawati, T. M., Rohajati, U., & Jayanti, R. S. (n.d.). *Effect of long fermentation of dough on physical and chemical properties of crackers substitution of composite flour*. <https://doi.org/10.31186/j.agroindustri.11.2.133-142>.
- Kittichotsatsawat, Y., Jangkrajarn, V., & Tippayawong, K. Y. (2021). Enhancing coffee supply chain towards sustainable growth with big data and modern agricultural technologies. *Sustainability*, 13(8), 4593. <https://doi.org/10.3390/su13084593>.
- Mahanal, S., Zubaidah, S., Setiawan, D., Setiowati, F. K., Muhaimin, F. G., & Kusmahardhika, N. (2025). Integrating locus of control into RICOSRE-flipped classroom for improved self-regulated learning. *Multidisciplinary Science Journal, Accepted Articles*. <http://dx.doi.org/10.31893/multiscience.2026022>.
- Manivannan, K., Gowda, V. D., Pavan, B. H. V., Aravindh, S., Nithisha, C., & chaithanya Tanguturi, R. (2024). Enhanced Agricultural Methods and Sustainable Farming Through IoT and AI Technology. *2024 Second International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI)*, 1206–1212. <https://doi.org/10.1109/ICoICI62503.2024.10696843>.
- Sholihah, M., Zubaidah, S., Mahanal, S., & Listyorini, D. (2025). The effect of reading-concept mapping-reciprocal teaching on students' communication skills. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 19(1), 158–168. <http://dx.doi.org/10.11591/edulearn.v19i1.21765>.
- Thangadurai, K., Sathieskumar, T., Poornachandar, T., Arulselvam, D., Anusiya, M., & Nivedhana, J. (2024). Intelligent Farming System Using Artificial Intelligence. *2024 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICPECTS62210.2024.10780285>.
- Vetrivel, S. C., & Arun, V. P. (2025). Smart Farming and Precision Agriculture Using AI Technologies. Dalam *Real-World Applications of AI Innovation* (hlm. 85–106). IGI Global Scientific Publishing.
- Yuniarsih, E. T., Hanifa, A. P., Nappu, M. B., Andriani, I., & Syamsuri, R. (2024). The Impact of Sustainable Technology Adoption on Coffee Farming in Tana Toraja, Indonesia: A Call for Comprehensive Support. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1364(1), 012016. doi:10.1088/1755-1315/1364/1/012016.