

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki prospek bagus di Indonesia serta memiliki nilai ekonomi besar di pasar global. Menurut Kementerian Pertanian untuk 2022-2025, Indonesia adalah produsen kopi terbesar keempat di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia, dengan produksi sekitar 789.000 ton per tahun. Ekspor bersih diperkirakan meningkat dari 420.000 ton pada 2024 menjadi 427.000 ton pada 2025. Sementara konsumsi domestik turun dari 368.000 ton menjadi 361.000 ton. Pada Januari-September 2024, ekspor kopi mencapai 342.000 ton atau senilai 1,49 miliar dollar AS (Rp 23 triliun), dengan tujuan utama ke Amerika Serikat, Mesir, Jerman, dan Malaysia (www.kompas.com, 2025).

Kualitas biji kopi menjadi faktor penentu dalam memenuhi standar ekspor dan menjaga reputasi kopi Indonesia di tingkat internasional. Dalam industri kopi, biji yang cacat secara fisik, seperti biji pecah, hitam, atau berlubang, serta adanya kontaminan asing seperti batu, ranting, atau logam, dapat menurunkan kualitas secara signifikan. Cacat dan kontaminan tersebut tidak hanya memengaruhi cita rasa dan aroma kopi tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi konsumen. Oleh karena itu, proses sortasi biji kopi menjadi tahap kritis dalam produksi untuk memastikan hanya biji berkualitas tinggi yang dipasarkan.

Standar mutu internasional yang ditetapkan *International Coffee Organization* (ICO) mensyaratkan toleransi cacat fisik dan kontaminan tidak melebihi 5%. Biji kopi yang mengandung cacat atau terkontaminasi, serangga, dan logam akan mengalami penurunan nilai jual yang signifikan dikarenakan kualitas kopi yang menentukan nilai jual, daya saing, serta kepuasan konsumen internasional, bahkan produk berisiko ditolak oleh pasar

ekspor. Hal ini berdampak langsung pada pendapatan petani dan industri kopi nasional (Ainnur Rizal, 2019).

Saat ini proses sortasi tradisional atau di sebut juga dengan *double picker* biasanya dilakukan yang oleh petani langsung atau pekerja khusus untuk pemilahan kopi mana saja yang masuk dan melewati standar kualitas untuk di jual (Sirappa et al., 2024). Namun proses ini masih mengandalkan pengelihan manusia sehingga memiliki beberapa kelemahan seperti cara sorting tiap pekerja yang menyebabkan inkonsistensi kualitas antar produksi dan pastinya lebih memakan waktu dan mengeluarkan biaya untuk membayar pekerja pemilah kopi.

Selain itu, ketika pembeli kopi dalam skala besar ingin memastikan kualitas kopi, dilakukan pengecekan secara manual juga dengan cara memilah biji satu persatu dari sampel kopi yang telah ditentukan sesuai standarnya. Pengambilan sampel kopi hijau, terutama untuk pengujian cacat, dilakukan dalam jumlah terbatas; contohnya, Angola menggunakan sampel 600g untuk mengklasifikasi kopi ke dalam 11 jenis berdasarkan jumlah cacat, Kolombia menggunakan 500g dengan batas maksimum 72 cacat, Gabon menggunakan 300g untuk menentukan kualitas seperti Supérieur atau Courant, dan Rwanda menggunakan 350g untuk analisis fisik dan organoleptik (*cupping*) (Council, 2018). Namun dalam penelitian ini fokusnya hanya untuk analisis deteksi secara fisik saja. Di Indonesia sendiri, proses verifikasi kualitas oleh pembeli (buyer) mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-2907-2008. Dalam standar ini, penentuan mutu dilakukan melalui pengambilan sampel sebanyak 300 gram dengan syarat kadar air maksimal 12,5%. Prosedur ini menjadi filter utama dalam transaksi perdagangan kopi untuk menentukan klasifikasi mutu fisik sebelum biji kopi didistribusikan lebih lanjut.

Perkembangan *deep learning* khususnya algoritma YOLO (*You Only Look Once*) menawarkan terobosan signifikan. YOLOv8 mampu memproses citra dengan akurasi multidimensi dalam mengenali fitur spasio-kontekstual seperti tekstur, bentuk, dan pola warna. Pada penelitian sebelumnya implementasi model YOLOv8 di industri tekstil berhasil

mendeteksi cacat kain dengan precision 82,88% dan recall 84,32% (Alam et al., 2025). Pada sistem deteksi jenis sampah menggunakan YOLOv8 ini mencapai akurasi 88% (Suwela & Hedriyadi, 2025). Keunggulan adaptabilitas model ini terhadap variasi pencahayaan dan latar belakang yang beragam menjadikannya ideal untuk aplikasi sortasi biji kopi.

Penerapan YOLOv8 pada biji kopi ini memiliki tantangan dalam penentuan jenis kecacatan fisik kopi, terdapat biji dengan ketidaksempurnaan seperti pecah, rusak, berlubang, muda (*imperfection beans*) dan kotoran atau benda asing (*impurities*) yang harus diidentifikasi. Perbedaan visual antar cacat seringkali sangat halus, seperti pada kasus *light sour* dan *underripe* yang hanya memiliki selisih warna yang halus. Ukuran biji kopi yang kecil (5–10 mm) juga memerlukan resolusi kamera tinggi dan teknik augmentasi spesifik. Faktor lingkungan seperti debu dan getaran mesin juga berpotensi menurunkan akurasi.

Berdasarkan analisis teknologi model ini, peneliti akan melakukan *fine-tuning* YOLOv8 untuk sistem sortasi biji kopi dengan tiga inovasi utama: Pertama, peningkatan akurasi deteksi melalui *transfer learning* dari model *pretrained* COCO ke dataset khusus berisi 451 citra dengan 6.487 anotasi biji kopi sesuai standar *International Coffee Organization* (ICO). Kedua, pengembangan arsitektur *lightweight* berbasis YOLOv8s untuk bertujuan mencapai latensi inferensi yang rendah pada perangkat komputasi edge seperti Jetson Nano atau Raspberry Pi. Ketiga, implementasi teknik augmentasi data dan *fine-tuning hyperparameter* untuk meningkatkan generalisasi model pada variasi biji kopi. Diharapkan, model yang di *fine tuning* ini mampu mencapai akurasi deteksi yang tinggi pada dataset uji, dengan potensi signifikan dalam meningkatkan kecepatan dalam mengetahui nilai cacat pada sampel biji kopi.

Urgensi penerapan teknologi otomatis dalam mendeteksi nilai cacat pada sampel biji kopi ini semakin relevan jika ditinjau dari perspektif pengelolaan pasca panen di sentra produksi lokal, seperti di Aceh. Sebagaimana dijelaskan oleh Kembaren dan Muchsin (2021) dalam

penelitian mereka mengenai pengelolaan kopi Arabika Gayo, tahapan pasca panen merupakan fase yang sangat krusial karena hasil akhir dari proses ini secara langsung menentukan nilai tambah (*added value*) dan harga jual komoditas di pasar (Kembaren & Muchsin, 2021). Dalam konteks ini, manajemen mutu tidak hanya berhenti pada budidaya, tetapi sangat bergantung pada konsistensi penanganan fisik biji kopi setelah dipanen. Kembaren dan Muchsin menekankan bahwa standar pengujian biji kopi, baik secara fisik maupun organoleptik yang mengacu pada SNI dan standar SCAA (*Specialty Coffee Association of America*), menuntut ketelitian tinggi, di mana keberadaan biji cacat atau benda asing (kontaminan) harus diminimalisir secara ketat untuk menjaga kualitas,. Namun, proses penyortiran manual yang umum dilakukan oleh petani maupun kolektor seringkali memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan dan konsistensi, sehingga intervensi teknologi menjadi solusi yang tak terelakkan untuk mempertahankan standar mutu tersebut secara efisien (Kembaren & Muchsin, 2021).

Di sisi lain, pemilihan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) dalam penelitian ini didasarkan pada rekam jejak keberhasilannya yang telah teruji dalam berbagai implementasi computer vision, termasuk dalam penelitian yang dilakukan di lingkungan Universitas Malikussaleh. Munandar, Yunizar, dan Retno (2024) telah membuktikan keandalan algoritma ini melalui pengembangan sistem deteksi abjad Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) (Munandar et al., 2024). Dalam penelitian tersebut, algoritma YOLO terbukti mampu bekerja sangat efektif sebagai model deteksi objek berbasis deep learning yang cepat dan efisien. Hasil evaluasi dari penelitian (Munandar et al., 2024) menunjukkan bahwa model YOLO mampu mencapai performa yang sangat baik dengan *Mean Average Precision* (mAP) sebesar 87,1% serta mampu membedakan kelas objek dengan akurasi tinggi.

Lebih jauh lagi, implementasi yang dilakukan oleh (Munandar et al., 2024) menegaskan kemampuan YOLO dalam melakukan deteksi secara *real-time* dengan konsistensi yang tinggi, yang mana merupakan aspek vital untuk aplikasi praktis yang memfasilitasi komunikasi langsung. Keberhasilan penerapan YOLO dalam mendeteksi gestur tangan yang kompleks dan bervariasi tersebut memberikan landasan empiris yang kuat bahwa arsitektur ini juga memiliki kapabilitas yang mumpuni untuk diterapkan pada deteksi cacat fisik biji kopi. Jika algoritma ini mampu mengenali pola gestur tangan yang dinamis dengan presisi tinggi, maka adaptasi model untuk mengenali fitur statis seperti tekstur, warna, dan bentuk pada biji kopi diharapkan dapat memberikan hasil akurasi yang setara atau bahkan lebih baik. Oleh karena itu, integrasi wawasan mengenai pentingnya nilai tambah pasca panen dari penelitian Kembaren dan Muchsin, yang dipadukan dengan bukti keandalan teknis algoritma YOLO dari penelitian (Munandar et al., 2024), menjadi dasar argumentasi yang kokoh dalam pengembangan sistem deteksi cacat biji kopi otomatis ini.

Meskipun algoritma YOLOv8 mendukung deteksi secara *real-time* melalui aliran video, implementasi pada penelitian ini mempertimbangkan keterbatasan praktis seperti latensi jaringan, keterbatasan spesifikasi server, serta kestabilan frame rate yang hanya berkisar antara 5–10 FPS pada pengujian berbasis web. Selain itu, proses penilaian mutu biji kopi berdasarkan nilai cacat tidak ideal dilakukan secara *real-time* karena membutuhkan akurasi deteksi yang tinggi pada setiap objek. Oleh karena itu, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah deteksi berbasis citra statis (*image-based detection*), di mana pengambilan data dilakukan dalam bentuk foto untuk memastikan kualitas visual yang lebih stabil, sehingga perhitungan nilai cacat dan klasifikasi mutu dapat dilakukan secara lebih akurat dan konsisten.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka permasalahan yang penulis rumuskan adalah :

1. Bagaimana melatih (*fine-tuning*) model YOLOv8 agar mampu mendeteksi biji kopi beserta jenis cacat fisiknya secara otomatis dan akurat sesuai standar ICO dan SNI?
2. Bagaimana merancang dan mengembangkan sistem deteksi nilai cacat pada sampel biji kopi berbasis web yang terintegrasi dengan model YOLOv8 sehingga proses identifikasi cacat biji kopi dapat dilakukan secara instan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan dan melakukan *fine-tuning* model YOLOv8 pada dataset biji kopi yang telah di-annotasi sesuai standar ICO dan SNI untuk mendeteksi cacat fisik dan kontaminan.
2. Membangun sistem identifikasi dan klasifikasi kualitas biji kopi berbasis web yang terintegrasi dengan model YOLOv8 untuk mendeteksi cacat fisik dan kontaminan serta menghitung nilai cacat secara otomatis berdasarkan citra statis, sehingga proses evaluasi mutu dapat dilakukan secara lebih akurat dan konsisten.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mendeteksi biji kopi normal dan cacat secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga dapat meminimalkan kesalahan, sehingga biji bagus tidak ikut terbuang dan biji cacat tidak lolos. Proses *grading* jadi lebih cepat dibanding manual.

2. Kebutuhan tenaga kerja manual berkurang dan kerja ulang karena salah sortir menurun, sehingga biaya produksi bisa lebih hemat dan alat lebih cepat balik modal.
3. Hasil sortiran lebih konsisten sesuai standar ICO dan SNI, tingkat penolakan dari pembeli turun, dan reputasi mutu kopi meningkat sehingga lebih mudah masuk pasar ekspor.
4. Sistem dapat berjalan secara praktis di perangkat seperti *smartphone* atau laptop, sehingga cocok untuk industri kopi skala kecil hingga menengah.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Ruang Lingkup dan Batasan penelitian yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya mendeteksi cacat fisik dan kontaminan pada biji kopi secara visual (makroskopis) dengan klasifikasi multi-kelas, yaitu: biji normal, biji berlubang, biji hitam, biji pecah, dan kontaminan yang terlihat dengan mata (misalnya batu atau kotoran lain). Penelitian ini tidak membahas cacat mikroskopis maupun cacat kimiawi.
2. Data citra yang digunakan berupa citra RGB berukuran 640×640 piksel, diambil dari satu kamera dengan posisi *top-down* dari atas. Biji kopi disusun satu lapis dan tidak saling menumpuk. Pencahayaan yang digunakan adalah cahaya alami atau lampu LED dengan intensitas sekitar 3000–6000 lux. Parameter kamera dibuat konstan selama pengambilan data. Pengujian model dilakukan hanya pada kondisi pencahayaan alami dan LED tersebut.
3. Proses inferensi model dilakukan secara *near real-time* pada laptop, tanpa menggunakan teknik optimasi *hardware* khusus. Penelitian ini tidak membahas analisis konsumsi daya, performa termal, deteksi kontaminan mikroskopis/kimiawi, serta pengaruh kondisi pabrik sesungguhnya seperti getaran mesin dan debu.

4. Sistem mendukung deteksi berbasis video (*real-time*) dengan keterbatasan *frame rate* sekitar 5–10 FPS tergantung kondisi jaringan dan server, namun proses evaluasi mutu dan perhitungan nilai cacat dilakukan menggunakan citra statis untuk memastikan akurasi deteksi yang optimal.
5. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan metrik mAP@0.5, baik per kelas maupun rata-rata.