

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi adalah salah satu komoditas pertanian yang berperan penting dalam perekonomian global. Berdasarkan laporan *International Coffee Organization* (ICO), konsumsi dan produksi kopi dunia pada periode 2023/2024 masing-masing mencapai sekitar 177 dan 178 juta kantong (60 kg) (ICO, 2024). Indonesia sendiri merupakan negara produsen kopi keempat setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia, dengan kontribusi 10,5 hingga 10,7 juta kantong (USDA, 2024). Maka dari itu, diperlukan sebuah penyortiran kopi yang baik dan cacat.

Berbagai penelitian terdahulu banyak memanfaatkan pendekatan *deep learning* berbasis CNN, seperti MobileNetV3 dan VGG-19, untuk mengklasifikasi cacat biji kopi dengan akurasi mencapai 99% (Arwatchananukul dkk., 2024; Hashmi dkk., 2025). Selain CNN, model berbasis *Transformer* juga telah diterapkan dan menghasilkan tingkat akurasi tinggi pada kisaran 90% hingga 96% (Ekowicaksono dkk., 2025; Muchtar dkk., 2025). Namun, mayoritas penelitian tersebut masih terbatas pada klasifikasi tunggal yang tidak mampu menangani lokasi banyak objek dalam satu gambar (Sood dkk., 2021). Keterbatasan lokalisasi ini menjadi hambatan utama dalam skenario penyortiran biji kopi yang padat.

Sebagai solusi, model YOLO (*You Only Live Once*) hadir dengan kemampuan deteksi multi-objek yang unggul dan dapat diimplementasikan secara *real-time* (Badgujar dkk., 2024; Lv dkk., 2025). Implementasi YOLO pada biji kopi menunjukkan hasil bervariasi dengan akurasi mulai dari 73% hingga 99,5% dan

kecepatan inferensi 1 sampai 3 detik (Arfan Astaraja dkk., 2025; Gope dkk., 2024; Oncu, 2025; Thai dkk., 2024). Meski demikian, model yang dihasilkan masih memiliki kekurangan, yakni kesulitan menangkap detail visual seperti bentuk dan perbedaan karakteristik visual, sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan deteksi. Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan yang dapat mengenali karakteristik visual objek.

Pendekatan yang dapat mengatasi keterbatasan tersebut adalah dengan menggunakan segmentasi (Yu dkk., 2023). Berbeda dengan deteksi objek *Bounding Box*, segmentasi mampu menghasilkan *mask* yang mengikuti kontur fisik setiap biji kopi secara mendetail dengan memproses citra menjadi beberapa segmen (Yu dkk., 2023). Salah satu model yang dapat melakukan deteksi objek beserta segmentasi adalah model varian YOLO, khususnya YOLOv11-Seg (He, Zhou, Liu, Zhang, dkk., 2025). Dibandingkan dengan varian YOLO segmentasi versi 8, 10, 12, dan 26, YOLOv11-Seg menunjukkan hasil yang lebih baik pada deteksi penyakit kulit dengan hasil mAP50 sebesar 0.84 dan presisi 0.852 (Omiotek dkk., 2026).

Namun, terdapat tantangan utama dalam implementasi YOLOv11-Seg, yaitu proses pembuatan anotasi ribuan gambar yang memakan waktu, ketelitian, hasil anotasi yang kurang presisi, dan sumber daya manusia (Aljabri dkk., 2022; Chou dkk., 2024; Siriborvornratanakul, 2024; S. Wang dkk., 2021). Meskipun model seperti U-Net, DeepLabV3, dan *Self-supervised learning* (SSL) telah ada, metode atau algoritma tersebut masih memerlukan label anotasi manual yang intensif dalam pelatihannya (Ahmadi dkk., 2025; Chan & Zeng, 2023). Maka dari itu, penggunaan *Segment Anything Model* (SAM) diusulkan sebagai solusi yang dapat melakukan

segmentasi secara *auto-labelling* melalui mekanisme *zero-shot* dengan berbagai jenis prompt seperti titik atau *bounding box*, sehingga tidak perlu ada pelatihan model lagi dan dapat digunakan untuk pembuatan anotasi secara presisi (Kirillov dkk., 2023; Y. Wang dkk., 2024).

Selain aspek anotasi, implementasi YOLOv11-seg juga perlu mempertimbangkan keterbatasan perangkat pada tingkat petani atau UMKM yang umumnya menggunakan *low-end devices*. Model dengan kompleksitas tinggi berpotensi menyebabkan latensi inferensi yang besar serta konsumsi daya yang tidak efisien (Bibi dkk., 2024). Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan teknik kuantisasi guna menurunkan jumlah parameter dan aktivitas model tanpa menghilangkan performa secara drastis (Hasanpour dkk., 2025; Liu dkk., 2024; Yuliyanti & Maarip, 2026). Optimasi ini sangat penting agar sistem deteksi kecacatan biji kopi dapat diterapkan secara luas dan *real-time* pada perangkat komputasi yang terbatas.

Berdasarkan tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan otomatisasi anotasi menggunakan *Segment Anything Model* (SAM) untuk mempercepat proses pelabelan dataset dan menjadi fondasi penerapan teknik segmentasi yang memungkinkan model mengenali kontur fisik cacat biji kopi hingga tingkat piksel. Untuk memastikan model tetap ringan, diterapkan juga metode kuantisasi sebagai teknik optimasi guna menyederhanakan parameter model tanpa menurunkan kinerja yang signifikan. Melalui integrasi ketiga pendekatan tersebut, diharapkan model yang dihasilkan mampu mendeteksi kecacatan secara akurat sekaligus dapat diimplementasikan pada perangkat *low-end*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana mengatasi proses anotasi poligon yang kurang presisi dan memakan waktu dalam akuisisi data?
2. Bagaimana performa model deteksi objek berbasis segmentasi yang dihasilkan oleh model YOLOv11-seg dalam mendeteksi kecacatan biji kopi.
3. Bagaimana kinerja model yang dikuantisasi dalam mendeteksi kecacatan biji kopi berdasarkan waktu inferensi, ukuran model, dan *Frame Per Second* (FPS)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Menerapkan *Segment Anything Model* (SAM) untuk mengatasi proses pembuatan anotasi poligon yang kurang presisi dan memakan waktu.
2. Menganalisis performa model YOLOv11-seg dalam mendeteksi dan melakukan segmentasi kecacatan biji kopi.
3. Menerapkan teknik *quantization* untuk meningkatkan kinerja model deteksi kecacatan biji kopi yang dapat diimplementasikan pada perangkat *low-end*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini, baik secara teoretis maupun secara praktis antara lain:

1. Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan bidang Computer Vision, khususnya dalam penerapan teknik *Segment Anything Model* (SAM) dan *quantization* pada model segmentasi citra.
2. Secara praktis, penelitian ini menghadirkan solusi teknologi tepat guna bagi petani, perusahaan, dan pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) untuk melakukan penyortiran biji kopi secara lebih objektif dan efisien.

1.5 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain:

1. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan dataset citra biji kopi yang bersumber dari penelitian (Arwatchananukul dkk., 2024).
2. Evaluasi performa model dalam penelitian ini dibatasi pada parameter yang berkaitan dengan kinerja deteksi dan efisiensi komputasi, meliputi *Confusion Matrix*, *Precision*, *Recall*, *F1-score*, *mean Average Precision* (mAP) untuk mengevaluasi hasil klasifikasi cacat biji kopi. Selain itu, pada tahap kuantisasi dievaluasi menggunakan ukuran model, inferensi, dan *Frames Per Second* (FPS) untuk menganalisis dampak penerapan kuantisasi pada salah satu jenis model yang dapat digunakan pada perangkat *low-end*, yaitu TF Lite.