

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian penelitian yang dilaksanakan, mulai dari proses anotasi data, pelatihan model, hingga implementasi sistem pada lingkungan produksi. Diperoleh lima Kesimpulan utama:

1. Proses anotasi objek dan pra-pemrosesan data gambar berhasil dilakukan secara sistematis menggunakan platform *Roboflow* dan teknik augmentasi citra seperti rotasi, pergeseran dan pencahayaan. Hasilnya adalah dataset yang dilakukan pemilahan gambar, dan manual anotasi dalam mendeteksi kematangan buah kelapa sawit dengan menggunakan file *yaml*.
2. Model YOLOv11 dengan pendekatan *transfer learning* menunjukkan performa deteksi yang superior dengan nilai *mAP@50* sebesar 90.2%, membuktikan akurasi tinggi dalam mengenali tingkat kematangan buah kelapa sawit secara visual.
3. Melalui strategi *multi-thread management* dan optimasi melalui *framework ONNX Runtime*, sistem mampu melakukan inferensi secara real-time di perangkat CPU tanpa bergantung pada GPU, dengan konsumsi daya yang tetap rendah dan stabilitas terjaga terbukti dengan berapa batch image yang kita telah uji.
4. Implementasi arsitektur software layered dengan menggunakan platform *Docker Engine* dalam infrastruktur VPS dengan langgan Biznet NEO Lite telah berhasil menjamin konsistensi layanan antar lingkungan pengembangan dan produksi, serta memberikan visualisasi deteksi yang interaktif bagi pengguna.
5. Penelitian ini memberikan referensi baru bagi pengembangan teknologi agroindustri, khususnya dalam mengoptimalkan model *deep learning* pada perangkat dengan sumber daya terbatas.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan serta keterbatasan yang ditemukan selama proses pengujian sistem, terdapat beberapa aspek strategis yang disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut pada penelitian mendatang, antara lain:

1. Eksplorasi teknik low-level engineering seperti optimasi cache CPU atau kernel level disarankan untuk semakin menekan latensi inferensi. Implementasi teknik ini bertujuan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya perangkat keras sehingga dapat meminimalkan biaya operasional infrastruktur tanpa mengorbankan performa sistem.
2. Perlu dilakukan penambahan variasi data citra dengan kondisi lingkungan dan sudut pengambilan gambar yang lebih luas guna meningkatkan ketahanan (*robustness*) model saat menghadapi situasi ekstrem di lapangan.
3. Perlu dilakukan proses *fine-tuning* lebih lanjut pada model untuk membedakan objek yang bukan buah kelapa sawit secara lebih akurat. Hal ini bertujuan untuk menghindari kesalahan deteksi (*false positive*) terhadap objek pengganggu atau aktivitas manusia di sekitar area deteksi.
4. Penelitian mendatang disarankan untuk menguji dan membandingkan kinerja model yang digunakan saat ini dengan arsitektur algoritma deteksi objek terkini lainnya (seperti varian YOLO terbaru, MobileNet-SSD, atau Vision Transformer). Selain itu, penerapan metode **ensemble** yang menggabungkan beberapa model dapat dieksplorasi untuk meningkatkan stabilitas, presisi, dan akurasi sistem saat menghadapi kompleksitas skenario pemrosesan citra di lapangan.
5. Disarankan untuk melaksanakan uji *User Acceptance Test* (UAT) secara langsung dengan melibatkan pemangku kepentingan di lapangan, seperti mandor, petani kelapa sawit, maupun praktisi industri perkebunan. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat penerimaan pengguna (*user adoption*), mengevaluasi aspek ergonomi antarmuka pengguna (UI/UX), serta menilai sejauh mana kemudahan operasional sistem aplikasi saat digunakan dalam alur kerja harian di lokasi perkebunan.

6. Pengembangan aplikasi di masa depan dapat memperluas fungsionalitas sistem dengan menambahkan fitur informasi harga pasar kelapa sawit secara *real-time* di Indonesia. Integrasi data ini bertujuan untuk memberikan nilai strategis bagi petani maupun perusahaan dalam menentukan waktu panen dan penjualan yang optimal, sehingga aplikasi tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi teknis, tetapi juga sebagai pendukung keputusan ekonomi yang komprehensif.