

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil,

1. Model A dengan konfigurasi dense head 128 neuron, dropout 0,3, focal loss ( $\alpha = 0,25; \gamma = 2,0$ ), learning rate fase pertama  $1 \times 10^{-3}$ , dan learning rate fine-tuning  $1 \times 10^{-5}$  mencapai Validation Accuracy tertinggi sebesar 81,95% dan Validation Loss terendah sebesar 0,0242 pada epoch ke-47, serta menunjukkan kemampuan generalisasi yang baik tanpa indikasi overfitting yang signifikan.
2. Model B dengan konfigurasi dense head 256 neuron, dropout 0,5, focal loss ( $\alpha = 0,35; \gamma = 1,5$ ), learning rate fase pertama  $5 \times 10^{-4}$ , dan learning rate fine-tuning  $1 \times 10^{-6}$  mencapai Validation Accuracy tertinggi sebesar 78,20% pada epoch ke-26 dengan Validation Loss sebesar 0,1011.
3. Pengujian offline set menunjukkan performa terbaik pada kelas Critical, dengan Accuracy 96,17%, Recall 96,81%, dan F1-Score 91,89%. Kelas Good memiliki Accuracy 71,52%, Recall 94,02%, dan F1-Score 71,15% sedangkan Accuracy kelas Warning sebesar 69,49%, Recall 38,60% dan F1-Score 53,73% akibat tingginya kemiripan karakteristik visual dengan kelas Good.
4. Komunikasi antara Raspberry Pi 5 dan WT32-ETH01 menggunakan protokol Modbus TCP berhasil diimplementasikan dengan hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan komunikasi sebesar 100% tanpa *packet loss* dengan latensi rata-rata berkisar antara 5,95 ms hingga 13,57 ms untuk proses pembacaan data.
5. Sistem kontrol conveyor dengan metode *stop-and-go* berhasil mengintegrasikan proses deteksi objek, akuisisi citra, inferensi model, dan aktuasi ejector dalam satu siklus kerja.

6. Waktu inferensi rata-rata yang diperoleh sebesar 773,16 ms menunjukkan bahwa Raspberry Pi 5 mampu menjalankan model MobileNetV2 secara lokal (*edge computing*).
7. Pengujian perangkat keras menunjukkan bahwa conveyor memiliki kecepatan rata-rata sebesar 2,47 cm/s dengan konsumsi daya motor sekitar 1,17 W. Selain itu, catu daya mampu mempertahankan tegangan keluaran yang stabil pada 12 V meskipun terjadi peningkatan beban saat sistem beroperasi.
8. Pengujian integrasi sistem menunjukkan bahwa seluruh subsistem, meliputi HMI, komunikasi Modbus TCP, sistem visi komputer, conveyor, dan aktuator ejector dapat bekerja secara terpadu. Namun demikian, masih ditemukan beberapa kasus salah deteksi yang disebabkan oleh posisi PCB yang tidak selalu berhenti tepat pada Region of Interest (ROI) kamera akibat tidak adanya mekanisme stopper pada conveyor.

## 5.2 Saran

Saran diberikan untuk mengatasi keterbatasan dan masalah yang muncul dalam percobaan, terutama untuk pengembangan dan penelitian lanjutan pada topik sejenis.

1. Menambahkan mekanisme stopper atau sistem kendali posisi yang lebih presisi pada conveyor untuk meningkatkan konsistensi posisi PCB saat proses akuisisi citra.
2. Mengoptimalkan model CNN melalui teknik kuantisasi (*quantization*) atau penggunaan akselerator perangkat keras agar waktu inferensi dapat dipersingkat.
3. Mengembangkan model dengan mekanisme attention, region-based classification, peningkatan resolusi citra, serta penambahan variasi data kelas Warning untuk meningkatkan kemampuan model dalam membedakan solder Good dan Warning yang memiliki kemiripan visual tinggi.
4. Mengembangkan sistem inspeksi dengan perangkat atau sensor tambahan agar solder yang good dan warning dapat diklasifikasi dengan akurasi yang baik.