

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta pengujian sistem deteksi kecacatan produk berbahan logam berbasis *image processing* dengan Raspberry Pi 5 yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut::

a. Desain Arsitektur Sistem

Sistem deteksi kecacatan produk berbahan logam berbasis Raspberry Pi 5 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan secara terintegrasi, yang terdiri dari Raspberry Pi 5 sebagai unit pemroses utama, mikrokontroler STM32F411CEU6 sebagai pengendali aktuator, kamera 720p wide-angle sebagai akuisisi citra, dua sensor inframerah sebagai pemicu objek, lima motor servo untuk pergerakan lengan robot, serta HMI Nextion sebagai antarmuka pengguna. Pada sisi perangkat lunak, sistem dijalankan secara otomatis melalui fitur Auto Run, dikendalikan menggunakan komunikasi serial UART, serta dilengkapi kemampuan jaringan di mana Raspberry Pi 5 berfungsi sebagai access point dan mampu melakukan internet sharing untuk mendukung monitoring dan pengoperasian sistem secara fleksibel dan mandiri.

b. Kinerja dan Optimasi Model Deteksi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan model YOLOv8 murni pada Raspberry Pi 5 belum mampu memenuhi kebutuhan deteksi real-time, namun melalui optimasi berupa konversi model ke format NCNN terjadi peningkatan performa yang signifikan dengan peningkatan FPS lebih dari 466%. Penerapan infer interval pada model NCNN mampu menyeimbangkan beban komputasi dan stabilitas sistem, di mana konfigurasi NCNN dengan infer interval 0,2 detik menghasilkan kinerja paling optimal dengan FPS implisit sebesar 16,82 FPS, memproses rata-rata 84 *frame* dalam 5 detik.

c. Akurasi dan Stabilitas Deteksi Kecacatan

Sistem deteksi kecacatan mampu mengklasifikasikan tiga jenis kecacatan, yaitu *scratch*, *brush marks*, dan *chipping*, secara otomatis dengan tingkat konsistensi klasifikasi Layak dan Cacat sebesar 83,33% dengan ambang batas kecacatan yakni ≥ 1 dianggap cacat dan < 1 dianggap layak. Penerapan Filter Region of Interest (ROI) terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas deteksi dengan menurunkan persentase false detection dari 47,5% menjadi 27,5%, meskipun pada beberapa sampel masih ditemukan ketidakkonsistenan hasil yang dipengaruhi oleh variasi sudut pengambilan citra, pencahayaan, jarak kamera, kualitas fokus, ketepatan ROI, serta keterbatasan dan kurangnya keragaman dataset pelatihan.

d. Pengaruh Sistem Pendingin terhadap Kinerja

Pengujian sistem pendingin menunjukkan bahwa pengaturan kipas user mampu menurunkan suhu rata-rata dan suhu maksimal CPU Raspberry Pi 5 sebesar 3°C lebih dibandingkan pengaturan default, namun tidak memberikan peningkatan kinerja komputasi yang signifikan karena sistem belum mengalami thermal throttling. Meskipun demikian, penggunaan pengaturan pendinginan user memberikan margin keamanan termal yang lebih baik, sehingga lebih mendukung stabilitas operasional sistem dan keandalan perangkat dalam penggunaan jangka panjang.

e. Kinerja Komunikasi dan Integrasi Sistem

Hasil pengujian komunikasi serial UART antara Raspberry Pi 5 dan STM32F411CEU6 menunjukkan bahwa waktu pengiriman data sangat kecil dan konsisten, dengan rata-rata sekitar 15 ms, sehingga tidak menjadi bottleneck dalam sistem. Latensi total sistem yang besar disebabkan oleh delay yang disengaja (5 detik dan 15 detik) untuk menyesuaikan alur mekanik proses sortir, bukan oleh keterbatasan komunikasi, dan secara keseluruhan sistem integrasi deteksi, pengiriman data, tampilan HMI Nextion, kontrol lengan robot, serta fitur Auto Run dan start-stop telah berjalan sesuai dengan perancangan.

f. Konektivitas Jaringan dan Monitoring

Raspberry Pi 5 berhasil diimplementasikan sebagai access point yang menyediakan jaringan nirkabel bagi perangkat klien, serta mampu melakukan internet sharing melalui konfigurasi IP forwarding dan NAT, sehingga perangkat terhubung dapat mengakses jaringan internet dengan baik. Sistem jaringan juga terbukti dapat berjalan otomatis setelah reboot, mendukung kemudahan monitoring dan keandalan sistem, dengan catatan bahwa keberhasilan internet sharing sangat dipengaruhi oleh kesesuaian band frekuensi Wi-Fi antara dongle nirkabel dan sumber jaringan internet.

5.2.Saran

Saran ini ditujukan untuk mengatasi keterbatasan yang ditemukan (terutama ketidakstabilan deteksi) dan memberikan arah untuk pengembangan sistem lebih lanjut.

a. Optimalisasi Data dan *Robustness*

Melakukan penambahan dataset pelatihan dengan variasi kondisi akuisisi citra yang lebih ekstrem, seperti variasi sudut pandang, pencahayaan, dan posisi objek. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan *robustness* (kekuatan) model deteksi agar tidak sensitif dan lebih tahan terhadap ketidakstabilan atau ketidakkonsistenan posisi produk (seperti yang diuraikan di Bab 4.5).

b. Eksplorasi Optimasi Model

Mengeksplorasi optimasi model selain NCNN serta penambahan *infer interval* 0,2 detik untuk menaikkan FPS agar lebih tinggi dari 15 FPS.

c. Optimalisasi Performa Sistem

Mengkaji penggunaan akselerator perangkat keras tambahan atau model deteksi yang lebih ringan untuk meningkatkan FPS tanpa mengorbankan akurasi deteksi.

d. Pengembangan Sistem Monitoring Jarak Jauh

Mengembangkan antarmuka monitoring berbasis web atau dashboard real-time agar status deteksi, performa sistem, dan hasil sortir dapat dipantau secara lebih komprehensif.