

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe sistem peringatan dini penyakit udang vaname berbasis Convolutional Neural Network (CNN) yang telah dilaksanakan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe S-DiDeS berhasil dirancang dan dibangun dengan mengintegrasikan tiga subsistem utama, yaitu subsistem akuisisi citra menggunakan kamera HQ IMX477, subsistem pemrosesan berbasis CNN yang diakselerasi oleh Hailo-8L pada Raspberry Pi 5, serta subsistem notifikasi dan antarmuka pengguna berbasis aplikasi mobile S-DiDeS. Seluruh subsistem terintegrasi dalam housing kedap air yang memungkinkan pengoperasian di bawah air.
2. Model CNN yang dikembangkan menggunakan arsitektur YOLOv11 dengan checkpoint COCOS mencapai performa evaluasi pada dataset validasi sebesar mAP@50 67,8%, precision 77,6%, recall 63,0%, dan F1-score 69,5%. Model memiliki kemampuan terbaik dalam mendeteksi penyakit IMNV dengan recall 100% dan kondisi sehat dengan precision 96,3%, namun masih memiliki keterbatasan dalam membedakan TSV dan WSSV yang memiliki kemiripan gejala visual, dengan F1-score masing-masing 50,5% dan 61,4%.
3. Sistem terintegrasi dengan aplikasi mobile S-DiDeS yang dikembangkan menggunakan framework Flutter telah berhasil menyediakan antarmuka pengguna yang responsif dan kompatibel lintas platform (Android dan iOS). Seluruh fitur aplikasi, meliputi halaman pemantauan, direktori penyakit, riwayat deteksi, dan pengaturan, telah diuji dan dinyatakan berfungsi dengan baik.
4. Pengujian integrasi keseluruhan sistem pada 130 sampel udang vaname menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil selama 10 siklus pemindaian berkelanjutan dengan akurasi 89,2% berdasarkan verifikasi PCR. Sistem tidak menghasilkan false positive (FP = 0) pada

seluruh sampel yang diujikan, yang berarti tidak ada udang sehat yang salah diklasifikasikan sebagai sakit. Waktu respons end-to-end rata-rata sebesar 400 ms masih berada di bawah ambang batas 1000 ms, sehingga notifikasi peringatan dini dapat diterima oleh pembudidaya tanpa keterlambatan yang berarti.

5. Sistem S-DiDeS telah terbukti mampu mendeteksi dini penyakit udang vaname, khususnya IMNV dan kondisi sehat, dengan tingkat keandalan yang baik. Keberhasilan penyimpanan data dan pengiriman notifikasi FCM yang mencapai 100% pada seluruh siklus pengujian menunjukkan bahwa mekanisme komunikasi antar subsistem berjalan dengan stabil dan andal.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan kinerja dan cakupan sistem S-DiDeS, yaitu sebagai berikut:

1. Penambahan data latih dengan variasi tingkat keparahan penyakit, kondisi pencahayaan yang berbeda, dan variasi genetik udang, khususnya untuk kelas TSV dan WSSV, guna meningkatkan kemampuan diskriminasi model dalam membedakan kedua penyakit yang memiliki kemiripan gejala visual.
2. Penerapan mekanisme *attention* dan *Feature Pyramid Network* (FPN) pada arsitektur model untuk meningkatkan kemampuan lokalisasi bounding box serta penangkapan fitur pada berbagai skala objek, sehingga performa deteksi objek secara keseluruhan dapat ditingkatkan.
3. Pengembangan sistem hibrida yang menggabungkan deteksi berbasis citra dengan parameter lingkungan tambak, seperti suhu, pH, salinitas, dan oksigen terlarut, untuk memberikan analisis diagnosis yang lebih komprehensif dan akurat.
4. Penambahan fitur pada aplikasi *mobile* berupa notifikasi peringatan dini berbasis lokasi dan riwayat kesehatan kolam, dashboard analitik untuk visualisasi tren kesehatan udang, sistem rekomendasi tindakan mitigasi berbasis basis data, serta fitur ekspor laporan deteksi dalam format PDF atau CSV.

5. Pengujian sistem pada tambak aktual dengan skala yang lebih luas dan durasi pemindaian yang lebih panjang untuk menguji ketahanan sistem terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi, seperti perubahan cuaca, fluktuasi kecerahan air, dan getaran mekanis.
6. Pengembangan sistem dengan konfigurasi multi-kamera untuk meningkatkan cakupan pemantauan pada tambak dengan luas yang besar, dengan mekanisme sinkronisasi data dan agregasi hasil deteksi secara terpusat.
7. Integrasi sistem dengan sistem manajemen tambak yang sudah ada, seperti sistem pemberian pakan otomatis, sistem aerasi, dan sistem manajemen kualitas air, sehingga seluruh aspek budidaya dapat dikelola secara terpusat dan terkoordinasi.