

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta pembahasan pada Bab IV, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

Pertama, hasil perbandingan *baseline* menunjukkan bahwa arsitektur *YOLOv8m* memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan *YOLOv8s* pada dataset citra kamera perangkat yang digunakan. Keunggulan tersebut terutama terlihat pada metrik $mAP@0.5$ dan $mAP@0.5:0.95$ yang mencerminkan ketelitian lokalisasi *bounding box* pada berbagai ambang *Intersection over Union (IoU)*. Meskipun *YOLOv8s* memiliki waktu inferensi yang lebih cepat, selisih waktu tersebut masih dapat ditoleransi dalam konteks monitoring konservasi, sehingga *YOLOv8m* dipilih sebagai model utama dalam penelitian ini.

Kedua, hasil eksperimen *data scaling* menunjukkan bahwa *YOLOv8m* memiliki tingkat *robustness* yang baik terhadap pengurangan jumlah data pelatihan. Pada penggunaan 50% data, model masih mampu mempertahankan performa yang relatif tinggi, meskipun terdapat fluktuasi *validation loss* yang lebih besar pada fase awal pelatihan. Peningkatan jumlah data hingga 100% terbukti meningkatkan stabilitas konvergensi serta memperbaiki kemampuan generalisasi model. Hal ini menunjukkan bahwa arsitektur *YOLOv8m* memiliki ketahanan struktural terhadap keterbatasan data, namun performa optimal tetap dicapai ketika seluruh dataset dimanfaatkan.

Ketiga, evaluasi menggunakan *3-fold cross-validation* menunjukkan bahwa model memiliki stabilitas performa yang tinggi. Nilai standar deviasi yang rendah pada metrik utama mengindikasikan bahwa model tidak bergantung pada satu pembagian data tertentu dan memiliki kemampuan generalisasi yang konsisten. Temuan ini memperkuat hasil analisis kurva *loss* yang tidak menunjukkan indikasi *overfitting* signifikan.

Keempat, analisis performa per kelas menunjukkan bahwa meskipun dataset memiliki *object-level imbalance*, model tidak menunjukkan bias ekstrem terhadap kelas tertentu. Variasi performa antar spesies masih berada dalam rentang yang wajar dan lebih dipengaruhi oleh kompleksitas visual serta kondisi lingkungan pada citra. Dengan demikian, *YOLOv8m* dapat dikategorikan memiliki kemampuan representasi fitur yang relatif adil terhadap berbagai kelas.

Kelima, hasil uji sensitivitas *confidence threshold* menunjukkan adanya *trade-off* antara *precision* dan *recall* yang konsisten dengan teori deteksi objek. *Threshold* sebesar 0,50 memberikan keseimbangan terbaik antara ketepatan dan kelengkapan deteksi, sehingga direkomendasikan sebagai konfigurasi operasional yang optimal dalam penelitian ini.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa *YOLOv8m* dalam penelitian ini tidak hanya menunjukkan akurasi yang tinggi, tetapi juga stabil, *robust* terhadap variasi jumlah data, tidak mengalami *overfitting* signifikan, serta fleksibel terhadap pengaturan parameter operasional. Dengan karakteristik tersebut, model dinyatakan layak untuk diterapkan dalam sistem deteksi spesies satwa liar berbasis citra kamera perangkap.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun implementasi sistem di lapangan.

Pertama, penelitian selanjutnya dapat memperluas jumlah kelas spesies dan volume dataset untuk menguji skalabilitas model pada skenario yang lebih kompleks. Penggunaan dataset lintas wilayah geografis juga dapat dilakukan untuk menguji kemampuan generalisasi model terhadap variasi habitat yang lebih beragam.

Kedua, dapat dilakukan eksplorasi terhadap teknik augmentasi data yang lebih adaptif, seperti *domain randomization* atau teknik *synthetic data generation*, guna meningkatkan performa pada kelas dengan jumlah sampel terbatas serta meminimalkan risiko ketimpangan performa antar kelas.

Ketiga, untuk implementasi pada perangkat *edge* atau sistem *real-time* dengan keterbatasan sumber daya komputasi, diperlukan evaluasi lebih lanjut terkait optimasi model, seperti *pruning*, *quantization*, atau *knowledge distillation*, sehingga diperoleh keseimbangan yang lebih optimal antara akurasi dan efisiensi komputasi.

Keempat, penelitian lanjutan dapat mengintegrasikan sistem deteksi dengan modul analitik populasi berbasis waktu (*temporal analysis*), sehingga tidak hanya mendeteksi keberadaan spesies, tetapi juga mampu menganalisis pola pergerakan dan dinamika populasi secara berkelanjutan.

Kelima, diperlukan validasi lapangan secara langsung untuk menguji performa sistem dalam kondisi operasional nyata, termasuk variasi pencahayaan ekstrem, gangguan vegetasi, serta kondisi cuaca yang dinamis, guna memastikan kesiapan sistem dalam mendukung program konservasi secara praktis.

Dengan adanya pengembangan lebih lanjut pada aspek teknis maupun implementatif, sistem deteksi berbasis *YOLOv8* diharapkan dapat menjadi bagian dari solusi transformasi digital dalam konservasi satwa liar yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.