

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Transfer Learning dengan arsitektur EfficientNet-B2 berhasil dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kerusakan jalan beraspal dengan tingkat akurasi yang tinggi. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu mengenali empat jenis kerusakan jalan, yaitu lubang, pengelupasan lapisan permukaan, retak, dan retak pinggir, dengan performa yang sangat baik berdasarkan evaluasi menggunakan akurasi, precision, recall, F1-score, confusion matrix, dan ROC-AUC Curve.

Berikut adalah kesimpulan utama dari penelitian ini: Adapun jawaban terhadap rumusan masalah yang telah diajukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai jenis kerusakan jalan dengan akurat menggunakan jaringan syaraf tiruan?

Model deteksi dan klasifikasi kerusakan jalan dikembangkan menggunakan jaringan syaraf tiruan berbasis Convolutional Neural Network (CNN) dengan teknik Transfer Learning menggunakan arsitektur EfficientNet-B2. Model ini mampu mengklasifikasikan gambar kerusakan jalan berdasarkan empat kategori utama dengan tingkat akurasi yang tinggi. Evaluasi menggunakan confusion matrix menunjukkan bahwa sebagian besar sampel dapat diklasifikasikan dengan benar, sedangkan metrik ROC-AUC menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan klasifikasi yang hampir sempurna. Dengan demikian, model ini terbukti dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai jenis kerusakan jalan secara akurat.

2. Bagaimana mengoptimalkan model CNN dengan Transfer Learning agar dapat diterapkan pada dataset lokal dengan performa yang baik?

Optimasi model dilakukan melalui berbagai skenario pengujian, yang mencakup pemilihan optimizer, learning rate, skema pembagian data, jumlah layer yang di-fine-tune, teknik augmentasi data, serta resolusi gambar. Berdasarkan hasil eksperimen, konfigurasi terbaik yang diperoleh adalah:

- **Optimizer:** Adam
- **Learning Rate:** 0.0001

- **Pembagian Data:** 70% Training, 20% Validation, 10% Testing
- **Fine-Tuning Layer:** 30 lapisan terakhir di-unfreeze
- **Augmentasi Data:** Tanpa Augmentasi
- **Resolusi Gambar:** 255 × 255 piksel

Dengan konfigurasi ini, model mampu mencapai akurasi sebesar 95.21%, precision 95.23%, recall 95.21%, dan F1-score 95.22%, yang menunjukkan performa yang sangat baik dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kerusakan jalan pada dataset lokal. Dan juga Berdasarkan hasil Confusion Matrix, model berhasil mengklasifikasikan sebagian besar sampel dengan benar. Namun, masih terdapat kesalahan klasifikasi antara kelas pengelupasan lapisan permukaan dan lubang, yang kemungkinan disebabkan oleh kemiripan fitur visual pada dataset. Oleh karena itu, model ini dapat digunakan sebagai sistem deteksi otomatis kerusakan jalan untuk mendukung pemantauan dan perawatan infrastruktur secara lebih efisien.

Dengan demikian, penelitian ini telah berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu mengembangkan model yang akurat dan efisien dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan kerusakan jalan menggunakan Transfer Learning dengan arsitektur EfficientNet-B2.

5.2 Saran

Meskipun model yang dikembangkan telah menunjukkan performa yang sangat baik, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penelitian di masa depan, antara lain:

1. Peningkatan kualitas dataset
 - Menambah jumlah gambar untuk setiap kelas agar lebih seimbang dan dapat mengurangi kemungkinan bias dalam model.
 - Menggunakan citra resolusi tinggi dari berbagai sumber, termasuk pencitraan drone atau satelit untuk meningkatkan variasi data.
2. Penggunaan teknik augmentasi yang lebih optimal
 - Dalam penelitian ini, augmentasi tidak memberikan dampak positif, tetapi penelitian selanjutnya dapat mencoba teknik augmentasi yang lebih selektif, seperti contrast enhancement atau shadow removal, untuk memperjelas fitur visual yang membedakan setiap jenis kerusakan.

3. Eksperimen dengan arsitektur model lain
 - Menguji model lain seperti ResNet, MobileNet, atau Vision Transformer (ViT) untuk membandingkan performa dengan EfficientNet-B2.
4. Implementasi dalam sistem berbasis real-time
 - Mengembangkan sistem deteksi otomatis berbasis mobile app atau IoT agar dapat digunakan secara praktis oleh instansi pemerintah atau perusahaan yang menangani perawatan jalan.
5. Peningkatan interpretabilitas model
 - Menggunakan metode seperti Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) untuk melihat bagian gambar yang paling mempengaruhi keputusan model, sehingga dapat membantu dalam analisis lebih lanjut dan meningkatkan kepercayaan terhadap prediksi model.