

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, seluruh tahapan perancangan, implementasi, serta evaluasi model klasifikasi sudah dilakukan dengan tujuan untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian. Analisis dilakukan mulai dari proses ekstraksi fitur CNN, klasifikasi menggunakan SVM, hingga evaluasi performa model dengan berbagai metrik uji. Maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari penelitian ini, Model hybrid CNN-SVM berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk melakukan klasifikasi jenis sampah. CNN berfungsi sebagai ekstraktor fitur dan SVM sebagai klasifikator akhir. Kombinasi keduanya terbukti efektif dalam menangani permasalahan klasifikasi sampah multikelas.
2. HP Tuning terbukti krusial dalam meningkatkan performa model. *Hyperparameter* dilakukan menggunakan *Randomized Search*. Pada CNN, konfigurasi optimal diperoleh dengan *base filters* (32), jumlah *Residual SE Block* (4), *dense units* (1024), *dropout rate* (0.5), serta *learning rate* (0.00028), yang meningkatkan kualitas fitur yang diekstraksi. Pada SVM, parameter kernel *sigmoid* dengan nilai *C* (6.85) dan *gamma* (0.00019) memberikan performa klasifikasi terbaik.
3. Model menunjukkan performa klasifikasi yang baik dan konsisten pada berbagai metrik evaluasi. Model mencapai *accuracy* (93%), *ROC-AUC* (0.9933), *precision* (0.93), *recall* (0.93) dan *f1-score* (0.93). Meskipun, masih terdapat beberapa kesalahan klasifikasi pada kelas tertentu seperti kardus dan kertas, disebabkan oleh kemiripan karakteristik visual.
4. Hasil komparasi algoritma dengan pretrained model lainnya menunjukkan bahwa model hybrid CNN-SVM bekerja lebih optimal antara kinerja klasifikasi dan kompleksitas komputasi. Pretrained model ringan memiliki efisiensi komputasi tinggi namun performa terbatas, serta pretrained model kompleks yang memberikan akurasi tinggi dengan komputasi besar.

5. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa model hybrid CNN-SVM merupakan metode yang layak dan efektif untuk diterapkan pada sistem klasifikasi jenis sampah. Model hybrid CNN-SVM dapat mencapai performa yang baik dan realistis diimplementasikan pada suatu sistem.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat dilakukan sebagai pertimbangan untuk penelitian selanjutnya maupun implementasi di dunia nyata, diantaranya:

1. Melakukan eksplorasi lanjutan perancangan arsitektur CNN kustom yang lebih spesifik terhadap karakteristik citra sampah. Arsitektur yang dirancang secara khusus akan menghasilkan representasi fitur yang lebih diskriminatif dibandingkan arsitektur umum.
2. Penelitian lanjutan dapat mengevaluasi penggunaan metode klasifikasi lain. Pendekatan seperti *Random Forest*, *Gradient Boosting*, atau *deep neural classifier* dapat dibandingkan dari sisi akurasi dan stabilitas prediksi.
3. Disarankan melakukan augmentasi data yang terfokus pada kelas minoritas guna mengurangi ketimpangan distribusi data. Alternatif lainnya dengan menambahkan jumlah data asli pada kelas tersebut agar model memperoleh representasi yang lebih seimbang.

Dalam penerapan di dunia nyata, diperlukan optimasi lebih lanjut terhadap efisiensi komputasi. Model yang ringan dan efisien akan lebih mudah diintegrasikan ke dalam sistem berbasis web, aplikasi mobile, atau perangkat IoT.