

## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai implementasi model hibrida antara *EfficientNetB4* dan *Vision Transformer* (ViT) untuk klasifikasi penyakit tanaman cabai menggunakan citra daun dapat ditarik tiga poin kesimpulan sesuai dengan rumusan masalah. Pertama, penerapan metode hibrida *EfficientNetB4* dan ViT berhasil diimplementasikan dengan baik untuk mengklasifikasikan penyakit tanaman cabai ke dalam tiga kategori penyakit utama, yaitu *yellowish*, *curl leaf*, *spot leaf*, serta satu kategori sehat, yaitu *healthy*. *EfficientNetB4* berfungsi sebagai *feature extractor* yang menghasilkan representasi fitur dari data citra daun, sementara *Vision Transformer* berfungsi sebagai pemodel hubungan global antar fitur melalui mekanisme *multi-head self-attention* yang menghasilkan representasi hubungan global dari data citra daun. Pada pemodelan skenario *baseline* yang menggunakan 100% data sekunder, model memperoleh akurasi sebesar 98,25%, menunjukkan bahwa model hibrida yang diusulkan memiliki kemampuan representasi fitur yang baik terhadap data citra daun tanaman cabai.

Kedua, variasi penambahan proporsi data primer pada setiap skenario pengujian terbukti berpengaruh secara signifikan terhadap performa dan kemampuan generalisasi model. Pada skenario satu, ketika model dilatih sepenuhnya menggunakan data sekunder dan diuji menggunakan 100% data primer tanpa pelatihan ulang, akurasi mengalami penurunan secara signifikan menjadi sebesar 82%. Hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan karakteristik distribusi antara data sekunder dan data primer yang memengaruhi kemampuan model dalam mengenali dan mengklasifikasikan data citra daun tanaman cabai. Penambahan data primer secara bertahap ke dalam proses pelatihan terbukti efektif dalam mengurangi dampak perbedaan tersebut dan meningkatkan kemampuan generalisasi model.

Pada skenario dua dengan penambahan 20% data primer, akurasi meningkat sebesar 99,07%. Pada skenario tiga dengan penambahan 50% data primer akurasi meningkat sebesar 99,17%. Dan, pada skenario empat dengan penambahan 80%

data primer akurasi mengalami penurunan sebesar 98,67%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan data primer hingga proporsi tertentu dapat meningkatkan kemampuan generalisasi model. Berdasarkan hasil uji signifikansi statistik, perbedaan performa antara skenario tiga dengan skenario dua dan skenario empat tidak signifikan, sehingga ketiga skenario tersebut dapat dianggap memiliki performa yang relatif setara. Namun, jika dibandingkan dengan skenario *baseline*, skenario tiga menunjukkan perbedaan performa yang signifikan, yang mengindikasikan adanya peningkatan kemampuan model setelah penambahan data primer. Selanjutnya, jika dilihat dari nilai akurasi, skenario tiga menunjukkan hasil terbaik. Hal tersebut juga didukung oleh hasil evaluasi metrik antar skenario dan jumlah kesalahan klasifikasi pada setiap kategori, dimana skenario tiga menghasilkan nilai metrik tertinggi dan jumlah *error* terendah.

Ketiga, model hibrida *EfficientNetB4* dan ViT dengan proporsi data primer optimal berhasil di *deployment* ke dalam *platform website* bernama BotaniQ menggunakan *framework* Flask. Melalui BotaniQ, pengguna dapat mengunggah data citra daun tanaman cabai untuk memperoleh hasil klasifikasi penyakit beserta nilai probabilitas. Selain itu, BotaniQ juga menyediakan informasi tambahan berupa gejala penyakit, rekomendasi penanganan, dan berita terkait budidaya tanaman cabai. *Website* tersebut dirancang untuk mengintegrasikan proses klasifikasi dan penyajian informasi dalam satu *platform* yang mudah diakses oleh pengguna. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh fitur utama pada *website* BotaniQ dapat berjalan dengan baik sesuai rancangan yang telah dibuat. Dengan demikian, implementasi menunjukkan bahwa model yang diusulkan tidak hanya dapat bekerja pada tahap eksperimen, tetapi juga dapat diaplikasikan dalam bentuk *website* yang fungsional.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode hibrida *EfficientNetB4* dan ViT dapat mengklasifikasikan penyakit tanaman cabai dengan akurasi optimal sebesar 99,17%, yang lebih unggul dibandingkan beberapa metode pada penelitian terdahulu. Penerapan integrasi data primer secara bertahap terbukti dapat meningkatkan performa akurasi klasifikasi, kemampuan generalisasi model, dan ketahanan model terhadap variasi distribusi serta karakteristik dari kedua

sumber data. Dengan demikian, metode yang diusulkan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi berbasis *deep learning* yang cepat, tepat, dan adaptif dalam mendukung proses identifikasi penyakit tanaman cabai pada kondisi lapangan di bidang pertanian.

## 5.2. Saran Pengembangan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya, diantaranya:

1. Memperluas jumlah dan variasi data citra daun tanaman cabai dengan mencakup lebih banyak lokasi pengambilan data, varietas tanaman, kondisi pencahayaan, dan tingkat keparahan penyakit yang berbeda. Hal tersebut bertujuan untuk memperkaya representasi data primer, sehingga kemampuan generalisasi model terhadap kondisi lapangan yang lebih beragam dapat ditingkatkan.
2. Menerapkan teknik *image enhancement*, seperti histogram *equalization* atau *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE), pada tahap *pre-processing* data untuk meminimalkan perbedaan karakteristik visual antara data sekunder dan data primer, sehingga dampak *domain shift* dapat dikurangi sebelum proses pelatihan model.
3. Mengembangkan fitur notifikasi untuk monitoring kondisi tanaman secara berkala, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi perkembangan tanaman secara lebih cepat. Selain itu, pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan basis data berbasis server agar penyimpanan dan pengelolaan data dapat dilakukan secara terpusat, sehingga sistem dapat digunakan secara lebih konsisten oleh petani maupun admin, yaitu pihak penyuluh pertanian.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*