

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keamanan pangan adalah salah satu pilar utama yang harus dipertahankan oleh semua negara agar memastikan bahwa penduduknya dapat mengakses pangan yang bernutrisi untuk memiliki hidup yang sehat [1]. Salah satu ancaman yang dihadapi dalam mempertahankan keamanan pangan adalah eksistensi penyakit tanaman yang dapat mempengaruhi tanaman penghasil pangan seperti buah-buahan dan sayur-mayur [2]. Tentunya, buah-buahan dan sayur-mayur menjadi bagian yang krusial dalam membentuk pola makan yang sehat bagi manusia, sehingga gangguan pada pasokan dapat menjadi masalah bagi pemenuhan nutrisi yang dibutuhkan manusia [3]. Selain dampak terhadap konsumen, ketika penyakit tanaman tidak ditangani dengan baik, kesejahteraan ekonomi tenaga kerja agrikultur berisiko melemah karena dapat menurunkan pendapatan petani yang bergantung pada jumlah dan kualitas hasil panen tanamannya. Bagi negara, produksi buah-buahan dan sayur-mayur yang menurun dari segi jumlah maupun kualitas dapat berdampak pada reputasi ekspor negara dan dapat menurunkan pendapatan negara [4].

Buah pisang memiliki tren konsumsi yang semakin meningkat di kalangan masyarakat [5], [6]. Popularisasi buah pisang dapat diatribusikan terhadap kandungan nutrisi yang dimiliki buah pisang seperti potasium dan karbohidrat tinggi yang penting bagi mempertahankan kesehatan dan energi tubuh manusia [7]. Selain pola konsumsi, pisang menjadi salah satu buah-buahan yang paling banyak diproduksi di antara buah-buahan tropis lainnya, mencapai jumlah panen sebesar 119 juta ton pada tahun 2020 [8]. Pisang juga diekspor dan diimpor oleh berbagai negara, sehingga menjadi sumber pendapatan yang signifikan bagi beberapa negara seperti Ekuador di mana ekspor buah pisang membentuk 35% dari total GDP-nya [6]. Namun, tanaman pisang juga dapat menderita penyakit. Di antara semua penyakit tanaman pisang, sigatoka hitam dan penyakit panama menjadi salah dua penyakit yang paling merugikan. Sigatoka hitam menyerang daun tanaman sehingga menghambat proses fotosintesis yang berdampak pada kuantitas dan

kualitas buah yang dihasilkan, sehingga mengurangi hasil panen sampai dengan 80% [9]. Sementara itu, penyakit panama menghambat transportasi nutrisi tanaman yang menyebabkan daun menjadi layu, mengurangi hasil panen secara signifikan dan terus berkembang sampai tanaman yang terinfeksi akhirnya mati [10]. Kedua penyakit ini telah menyebar di banyak negara produsen pisang, termasuk di Indonesia [11]. Masalah ini menjadi semakin urgen karena sebagian besar dari pisang yang diproduksi dan dikonsumsi di seluruh dunia adalah satu jenis, yaitu pisang *Cavendish* (ditunjukkan pada Gambar 1.1), sehingga tanaman pisang memiliki risiko yang lebih tinggi terhadap persebaran penyakit tanaman secara massal karena keragaman genetik yang rendah [12]. Kerentanan tanaman pisang terhadap penyakit sudah terbukti melalui salah satu varietas pisang yang sudah pernah hampir punah, yaitu *Gros Michel*, karena infeksi penyakit panama pada tahun 1950-an yang tersebar luas [13], [14].



Gambar 1.1 Pisang *Cavendish*
Sumber: [15]

Metode tradisional untuk mendeteksi penyakit tanaman pada umumnya dilakukan melalui inspeksi visual secara manual atau melalui mikroskop [16]. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan seperti kebutuhan akan tenaga ahli yang memahami karakteristik penyakit, memakan banyak waktu, dan akurasi pendeteksian yang tidak konsisten. Selain itu, dengan berkembangnya ukuran lahan pertanian, metode tradisional menjadi sangat tidak efisien untuk mendeteksi penyakit secara dini. Untuk menangani isu ini, pada beberapa tahun terakhir telah muncul *machine learning* dan *deep learning* yang memiliki cabang *computer vision* untuk mendeteksi objek dalam citra visual seperti gambar penyakit pada tanaman. Dengan solusi berbasis *computer vision*, pendeteksian penyakit tanaman dapat

dilakukan secara otomatis dan tidak memerlukan tenaga ahli yang memiliki pengetahuan dalam penyakit tanaman, serta lebih efisien dalam penggunaan waktu [17], [18], sehingga munculnya penyakit tanaman dapat ditangani lebih dini.

Pendeteksian penyakit tanaman menggunakan *deep learning*, lebih spesifiknya menggunakan *convolutional neural network* (CNN), merupakan topik yang sudah dieksplorasi oleh banyak penelitian terdahulu. Beberapa tanaman yang sudah diuji termasuk pisang [19], [20], [21], [22], [23], [24], tomat [25] dan anggur [26], [27]. Penelitian-penelitian terdahulu yang mengangkat topik ini menunjukkan bahwa CNN sangat kapabel dalam mengklasifikasi penyakit tanaman, sering kali menunjukkan akurasi di atas 90%, termasuk pada penyakit daun tanaman pisang [20], [21], [22]. Namun, model CNN konvensional yang memiliki akurasi tinggi umumnya dicapai melalui arsitektur yang dalam dan kompleks. Konsekuensinya, model memiliki persyaratan daya komputasi yang besar sehingga menyebabkan waktu inferensi dan konsumsi energi yang tinggi [28]. Batasan ini telah mendorong pembuatan arsitektur-arsitektur CNN ringan yang secara umum bertujuan untuk meningkatkan efisiensi arsitektur melalui berbagai metode dan sekaligus menjaga atau bahkan meningkatkan akurasi, agar CNN dapat diterapkan pada perangkat keras dengan sumber daya komputasi terbatas seperti telepon genggam [29].

Walaupun arsitektur CNN ringan sudah menjadi kemajuan dalam memungkinkan implementasi CNN pada lingkungan yang terbatas sumber daya komputasi, namun seleksi arsitektur CNN ringan mana yang sebenarnya paling layak untuk *deployment* pada telepon genggam masih menjadi pertanyaan. Penelitian terdahulu terkait pendeteksian penyakit daun tanaman pisang masih didominasi oleh evaluasi akurasi prediksi atau demonstrasi sederhana tentang bagaimana model dapat digunakan dalam sebuah prototipe aplikasi. Walaupun beberapa penelitian telah juga mengukur efisiensi model, namun efisiensi sering masih menjadi sekadar informasi tambahan, bukan sebagai salah satu faktor pemilihan model. Padahal, implementasi model pada telepon genggam menuntut adanya keseimbangan antara akurasi dan efisiensi [28] karena telepon genggam memiliki keterbatasan daya komputasi dan kapasitas baterai [30], [31]. Dua aspek lain yang juga masih jarang dievaluasi adalah *robustness* model terhadap variasi

kualitas citra serta kemampuan generalisasi model pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Tetapi, kedua aspek ini sebenarnya krusial untuk memastikan bahwa model dapat mengatasi kondisi di dunia nyata, bukan hanya kondisi steril [32]. Dengan demikian, *deployment* pada telepon genggam membutuhkan pertimbangan antara beberapa faktor sekaligus yaitu akurasi, *robustness*, kemampuan generalisasi, dan efisiensi, bukan hanya akurasi saja. Namun, keempat aspek ini belum dibahas dan dipertimbangkan secara bersamaan dalam penelitian terdahulu, sehingga berisiko menjadi *blind spot* dalam memilih model yang paling layak [32]. Selain itu, aspek interpretabilitas model juga masih relatif jarang dibahas pada penelitian penyakit daun tanaman pisang sehingga tidak diketahui jika model menggunakan fitur yang tidak relevan untuk mencapai prediksi ke suatu kelas [33]. Penelitian terdahulu yang membandingkan beberapa arsitektur CNN juga belum selalu menerapkan proses *hyperparameter tuning* yang sistematis untuk setiap model, sehingga hasil perbandingan yang diperoleh berpotensi dipengaruhi oleh konfigurasi *hyperparameter* yang kurang optimal [34].

Untuk mengatasi kekurangan dari penelitian-penelitian sebelumnya, kontribusi utama penelitian ini bukan hanya membandingkan tiga arsitektur CNN ringan, melainkan memberikan evaluasi yang lebih menyeluruh terhadap kelayakan model klasifikasi CNN dalam mendeteksi penyakit daun tanaman pisang, khususnya sigatoka hitam dan penyakit panama, pada telepon genggam. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada akurasi atau implementasi aplikasi, penelitian ini menganalisis *tradeoffs* antara akurasi, efisiensi penggunaan sumber daya komputasi, *robustness* model terhadap variasi kualitas citra dan kemampuan generalisasi model terhadap data *out-of-distribution*. Keempat aspek ini menjadi metrik yang dapat saling bertentangan, di mana contohnya model yang paling akurat belum tentu juga yang paling efisien [19], [24]. Oleh karena itu, pemilihan model CNN paling layak untuk *deployment* telepon genggam merupakan permasalahan multi-kriteria.

Untuk mengatasi dilema multi-kriteria, penelitian ini menggunakan metode CRITIC untuk menghitung bobot dari setiap kriteria berdasarkan variasi data dan hubungan antar kriteria, sehingga kebutuhan opini manusia dalam proses

pembobotan dan mengurangi bias subjektif [35], [36]. Kemudian, untuk memilih model mana yang paling layak untuk *deployment* pada telepon genggam, penelitian ini mengadopsi metode TOPSIS yang menghasilkan sebuah skor untuk setiap model yang dijadikan sebagai *ranking* model. Model yang meraih peringkat pertama merupakan model dengan *tradeoffs* yang paling minim di antara semua model yang dievaluasi [37]. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan Grad-CAM agar dapat diketahui area citra yang digunakan model untuk mencapai suatu prediksi [38]. Penelitian ini juga menggunakan *hyperparameter tuning* untuk memastikan perbandingan model yang lebih adil [34]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan dasar yang lebih kuat dalam memilih arsitektur CNN ringan yang paling layak untuk *deployment* pada telepon genggam dengan tujuan pendeteksian penyakit daun tanaman pisang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan, dirancang 3 pertanyaan yang akan dijawab pada akhir penelitian ini. Pertanyaan-pertanyaan ini disusun untuk memberikan arah yang jelas terhadap proses penelitian serta memastikan bahwa setiap tujuan penelitian dapat dicapai secara sistematis. Berikut adalah rumusan masalah yang diformulasikan untuk penelitian ini:

1. Bagaimana kinerja prediksi model EfficientNetV2B0, MobileNetV3S dan SqueezeNet1_1 yang dibuat dalam mengklasifikasi penyakit tanaman pisang berbasis citra daun pada 3 kelas yang diteliti?
2. Bagaimana efisiensi model EfficientNetV2B0, MobileNetV3S dan SqueezeNet1_1 yang dibuat dari segi kecepatan inferensi, penggunaan RAM dan ukuran file model?
3. Bagaimana *robustness* model EfficientNetV2B0, MobileNetV3S dan SqueezeNet1_1 dalam kondisi *deployment* pada telepon genggam, di mana distribusi data dapat berbeda dan kondisi gambar bervariasi?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan, agar penelitian ini lebih terarah, maka perlu ditetapkan beberapa batasan masalah penelitian. Batasan masalah ini

disusun untuk memperjelas ruang lingkup penelitian sehingga pembahasan tetap berfokus pada tujuan yang telah ditetapkan. Dengan adanya batasan tersebut, penelitian diharapkan dapat dilakukan secara lebih sistematis dan menghasilkan pembahasan yang relevan. Batasan masalah yang ditetapkan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada tiga kelas kondisi tanaman pisang yang memiliki gejala visual pada bagian daun, yaitu tanaman pisang yang sehat, beserta dengan tanaman pisang yang terinfeksi dengan sigatoka hitam dan tanaman pisang yang terinfeksi dengan penyakit panama.
2. Model yang dibuat tidak dilatih pada bagian tanaman pisang selain daun seperti batang atau buah.
3. Model yang dibuat belum tentu memiliki kinerja prediksi yang baik ketika diberikan citra daun selain daun sehat, daun dengan sigatoka hitam dan daun dengan penyakit panama.
4. Penelitian ini tidak berfokus pada kultivar pisang spesifik. Kultivar pisang yang diteliti terbatas oleh *dataset* yang digunakan dalam penelitian ini untuk melatih model.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Subbab ini menjelaskan tujuan dan manfaat dari penelitian ini. Tujuan penelitian dirumuskan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian agar setiap tahapan yang dilakukan memiliki arah yang jelas. Selain itu, manfaat penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi, baik secara teoretis maupun praktis, bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

1.4.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diformulasikan, penelitian ini memiliki tiga tujuan. Tujuan-tujuan tersebut disusun sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian serta menjadi acuan untuk menjawab setiap rumusan masalah yang telah ditetapkan. Adapun tiga tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kinerja prediksi dari model EfficientNetV2B0, MobileNetV3S, dan SqueezeNet1_1 yang dibuat dalam mengklasifikasi penyakit tanaman pisang berbasis citra daun pada 3 kelas yang diteliti.
2. Mengetahui efisiensi model EfficientNetV2B0, MobileNetV3S, dan SqueezeNet1_1 yang dibuat dari segi kecepatan inferensi, penggunaan RAM dan ukuran file model.
3. Mengetahui *robustness* model EfficientNetV2B0, MobileNetV3S dan SqueezeNet1_1 dalam kondisi *deployment* pada telepon genggam, di mana distribusi data dapat berbeda dan kondisi gambar bervariasi.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Secara teoretis, penelitian ini memiliki tiga manfaat. Manfaat-manfaat tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Adapun tiga manfaat teoretis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman mengenai *tradeoffs* antara kinerja prediksi, efisiensi komputasi, *robustness*, dan kemampuan generalisasi pada arsitektur CNN ringan untuk klasifikasi penyakit tanaman pisang berbasis citra daun.
2. Memperkaya literatur mengenai evaluasi model *deep learning* yang tidak hanya mempertimbangkan akurasi prediksi, tetapi juga aspek efisiensi komputasi, *robustness*, kemampuan generalisasi, dan kelayakan *deployment* pada perangkat telepon genggam.
3. Memberikan referensi mengenai penggunaan pendekatan pengambilan keputusan multi-kriteria berbasis CRITIC dan TOPSIS dalam pemilihan model *deep learning* yang paling layak untuk implementasi pada lingkungan dengan keterbatasan sumber daya komputasi.

Selain manfaat teoretis, penelitian ini juga memiliki tiga manfaat praktis. Manfaat-manfaat tersebut diharapkan dapat menjadi referensi dan memberikan nilai guna bagi pihak-pihak yang berkepentingan sesuai dengan hasil penelitian. Adapun tiga manfaat praktis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi arsitektur CNN ringan yang paling layak untuk digunakan dalam aplikasi pendeteksian penyakit tanaman pisang berbasis telepon genggam.
2. Menjadi dasar dalam pengembangan sistem pendeteksian penyakit tanaman berbasis AI yang mampu mengurangi ketergantungan pada proses inspeksi manual oleh tenaga ahli.
3. Mendukung peningkatan produktivitas tanaman pisang, mengurangi kerugian akibat serangan penyakit tanaman, serta berkontribusi terhadap ketahanan pangan dan kesejahteraan petani.

1.5 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari lima bab yang disusun secara sistematis untuk memudahkan pembaca dalam memahami alur pembahasan. Setiap bab memiliki fokus pembahasan yang saling berkaitan sehingga membentuk satu kesatuan penelitian yang utuh. Adapun sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab, yaitu:

1. Bab I Pendahuluan
Bab ini berisi gambaran umum penelitian, bertujuan untuk memberikan latar belakang dan konteks dari masalah yang akan diteliti. Secara sistematis, bagian ini mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.
2. Bab II Landasan Teori
Bab ini memuat dasar teori yang relevan dengan topik penelitian ini, serta membahas penelitian terkait yang sudah dilakukan sebelumnya. Secara sistematis, bagian ini mencakup penelitian terkait, landasan teori, *framework* yang digunakan, serta alat yang digunakan.
3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan.

4. Bab IV Analisis dan Hasil Penelitian

Bab ini memaparkan hasil dari eksekusi proses penelitian yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

5. Bab V Simpulan dan Saran

Bab terakhir ini menyimpulkan temuan penelitian dengan menjawab rumusan masalah, serta memberikan rekomendasi untuk penelitian ke depannya.

