

1. Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara agraris dengan tanah yang subur dan iklim tropis, yang memberikan keuntungan signifikan bagi sektor pertanian. Tanaman apel (*Malus domestica*) merupakan salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi di Indonesia. Apel tidak hanya berkontribusi pada ekonomi, tetapi juga menawarkan berbagai manfaat kesehatan, seperti mengurangi risiko aterosklerosis, serangan jantung, dan diabetes. Selain itu, apel memiliki nilai gizi tinggi yang sangat bermanfaat bagi tubuh manusia [1]. Namun, tantangan terbesar dalam budidaya apel adalah kerentanan tanaman terhadap berbagai penyakit, terutama yang menyerang daun, yang dapat berdampak signifikan terhadap produktivitas tanaman dan kualitas buah yang dihasilkan [2]. Penyakit daun yang tidak diobati pada tanaman apel telah terbukti berdampak langsung pada hasil panen, mengurangi fotosintesis, menyebabkan defoliasi prematur, dan pada akhirnya memengaruhi kualitas serta kuantitas produksi apel [2]. Sebagai contoh, Karat Apel (*Apple Rust*), yang disebabkan oleh jamur *Gymnosporangium juniperivirginianae*, dan Kudis Apel (*Apple Scab*), yang disebabkan oleh *Venturia inaequalis*, telah terbukti menyebabkan kerusakan daun yang parah. Pendekatan konvensional untuk identifikasi penyakit tanaman memerlukan pengalaman dan waktu yang cukup besar, menjadikannya tidak efisien [3]. Namun, kemajuan teknologi terkini, khususnya di bidang kecerdasan buatan (AI), *machine learning*, dan *deep learning*, telah membuka jalan bagi penerapan langkah-langkah pencegahan dini. Memanfaatkan kemampuan visi komputer telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan klasifikasi penyakit daun apel, memastikan efektivitas dan efisiensi [4].

Sejumlah penelitian telah dilakukan terkait penerapan teknologi *deep learning* dalam identifikasi penyakit tanaman. Banarase dan Shirbahadurkar menggunakan MobileNetV2 untuk mengklasifikasikan penyakit daun apel. Dalam eksperimen mereka, model yang diusulkan menunjukkan akurasi 99,36% pada dataset yang terdiri dari daun sehat dan tiga kategori penyakit daun apel [3]. Sirait et al. [5] mengusulkan model Inception-V3 yang ditingkatkan dengan memasukkan *output layer* ke dalam arsitektur Inception-V3, dengan tujuan meningkatkan akurasi klasifikasi penyakit daun apel. Penelitian tersebut mencapai akurasi 99,27%, mengkategorikan tiga jenis penyakit dan satu daun sehat. Sebuah model *ensemble* yang terdiri dari DenseNet121, EfficientNetB7, dan EfficientNet Noisy Student menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mengidentifikasi empat kategori penyakit daun apel: *multiple diseases*, *apple scab*, *apple cedar rust*, dan daun sehat. Model tersebut menunjukkan tingkat akurasi 96,25% pada set validasi dan tingkat akurasi 90% dalam mengidentifikasi daun yang terserang berbagai penyakit secara efektif [6].

Meskipun penelitian sebelumnya telah menunjukkan akurasi tinggi dalam klasifikasi penyakit daun apel, model tersebut seringkali membutuhkan sumber daya komputasi yang tinggi, sehingga membatasi aplikasi dunia nyata pada perangkat seluler dan *edge devices*. Dalam beberapa tahun terakhir, model *deep learning* yang ringan telah mendapatkan daya tarik untuk deteksi penyakit tanaman secara *real-time*, terutama di lingkungan dengan sumber daya terbatas. Di antara model-model ini, MobileNetV3 [7] menonjol karena efisiensi dan akurasi yang tinggi, menjadikannya sangat cocok untuk implementasi pada perangkat seluler dan *edge devices*. Untuk mengatasi keterbatasan ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan MobileNetV3 dengan memodifikasi lapisan pertama MobileNetV3 dan memodifikasi mekanisme atensi (*attention mechanism*) sambil menyeimbangkan akurasi dan efisiensi komputasi.