

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi Sistem pertanian akuaponik telah berhasil mengintegrasikan budidaya berbagai jenis sayuran seperti bayam, kangkung, pokcoi, selada, dan kemangi dengan budidaya ikan (Setyono and Scabra 2019), menciptakan ekosistem berkelanjutan yang saling menguntungkan. Pertanian akuaponik sebagai sistem budidaya berkelanjutan yang menggabungkan akuakultur dan hidroponik menghadapi tantangan serius dari penyakit tanaman, khususnya pada bayam yang banyak dibudidayakan karena keunggulan adaptasi dan nutrisinya – mirip dengan ancaman penyakit pada kacang tanah dalam studi sebelumnya yang menunjukkan CNN mampu mencapai 98.46% akurasi deteksi berbasis temuan tersebut (M. P. and Reddy 2023). Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini mengembangkan aplikasi mobile menggunakan arsitektur MobileNetV2 yang dimodifikasi dengan Batch Normalization dan Cosine Learning Rate Decay untuk menghasilkan proses pelatihan yang lebih stabil dan konvergen. Untuk mengatasi tantangan dataset yang terbatas dan tidak seimbang (imbalance), penelitian ini menerapkan pendekatan advanced deep learning melalui implementasi Focal Loss dan MixUp Augmentation yang memungkinkan model lebih fokus pada kelas penyakit yang sulit dibedakan sekaligus menciptakan variasi data sintetis yang lebih kaya guna meningkatkan kemampuan generalisasi model. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan dataset kolaboratif yang komprehensif dari berbagai wilayah geografis dan kondisi pertumbuhan tanaman, menerapkan teknik augmentasi data, serta menggunakan metrik evaluasi precision-recall yang dipadukan dengan validasi silang untuk memastikan performa model tetap konsisten dalam berbagai kondisi lingkungan dan tahap pertumbuhan tanaman. Sebagai tahap akhir untuk menjamin akurasi tinggi pada implementasi lapangan, sistem dilengkapi dengan metode Test-Time Augmentation (TTA) dan dikonversi ke format TensorFlow Lite (TFLite) terkuantisasi agar mampu melakukan deteksi penyakit secara *real-time* dan *offline* pada perangkat mobile petani. Dengan pendekatan tersebut, sistem diharapkan mampu melakukan deteksi dini penyakit bayam akuaponik secara

akurat dan efisien sehingga membantu petani mengidentifikasi masalah potensial dan menerapkan tindakan pengendalian yang tepat guna mencegah kerugian ekonomi signifikan, bahkan pada daerah dengan keterbatasan konektivitas internet.

Sistem budidaya akuaponik saat ini masih mengandalkan identifikasi visual manual oleh petani untuk memilih varietas bayam (Malabar) yang sesuai dan mendeteksi penyakit tanaman, metode yang memiliki banyak keterbatasan. Sebagaimana ditemukan pada studi tentang penyakit tanaman secara umum, pendekatan konvensional ini sangat bergantung pada keahlian subjektif petani yang tidak semua memiliki pemahaman mendalam tentang patologi tanaman. Identifikasi manual seringkali terlambat dilakukan sehingga penyakit sudah terlanjur menyebar dan merusak tanaman, suatu masalah yang juga tercatat dalam sistem pertanian konvensional. Kesalahan dalam memilih varietas bayam yang cocok untuk sistem akuaponik tertentu dapat mengakibatkan pertumbuhan suboptimal, penurunan produktivitas, dan pemborosan sumber daya. Kendala ini diperparah oleh terbatasnya akses petani skala kecil terhadap ahli tanaman dan informasi akurat, menciptakan kebutuhan mendesak akan solusi deteksi penyakit yang lebih andal dan terjangkau, yang mana solusi teknologi berbasis kecerdasan buatan dapat menjadi alternatif menjanjikan untuk mengatasi hambatan-hambatan ini dengan menyediakan sistem identifikasi cepat, konsisten, dan akurat yang dapat diakses melalui perangkat mobile yang umum dimiliki petani, sehingga memungkinkan deteksi dini patogen sebelum penyebaran masif terjadi, membantu pemilihan varietas optimal berdasarkan karakteristik sistem akuaponik individual, dan menyediakan rekomendasi penanganan yang tepat bahkan bagi petani dengan pengetahuan terbatas tentang penyakit tanaman bayam. (Chai et al. 2025)

Untuk mengatasi keterbatasan deteksi manual pada sistem akuaponik, penelitian ini mengusulkan implementasi arsitektur MobileNet dalam aplikasi mobile yang ringan dan efisien, terinspirasi oleh keberhasilan model CNN berbasis segmentasi gambar (S-CNN) yang mencapai akurasi 98.6% pada identifikasi penyakit tanaman tomat (Sharma, Berwal, and Ghai 2020). Solusi ini memungkinkan petani secara waktu nyata mendeteksi penyakit bayam seperti Anthracnose, Bacterial Spot, Downy Mildew, dan Pest Damage melalui foto

smartphone, tanpa bergantung pada peralatan laboratorium atau keahlian khusus. Kombinasi efisiensi komputasi MobileNet dan pendekatan segmentasi gambar menjadikan sistem ini sangat aplikatif untuk petani skala kecil dengan sumber daya terbatas, dengan keunggulan tambahan berupa kemampuan sistem untuk berfungsi dalam kondisi konektivitas internet terbatas melalui pemrosesan di smartphone, mengintegrasikan fitur augmentasi data otomatis untuk meningkatkan akurasi dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar, serta menyediakan basis pengetahuan komprehensif yang menampilkan rekomendasi penanganan spesifik untuk setiap jenis penyakit yang terdeteksi, termasuk solusi organik yang kompatibel dengan prinsip keberlanjutan sistem akuaponik dan keseimbangan ekosistem ikan-tanaman yang sensitif, sehingga tidak hanya menyelesaikan masalah deteksi dini namun juga memberikan panduan penanganan yang holistik sesuai dengan kompleksitas unik sistem budidaya terintegrasi ini.

Pengembangan aplikasi klasifikasi bayam berbasis deep learning ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi kemajuan pertanian akuaponik. Dengan kemampuan identifikasi dini terhadap penyakit tanaman bayam, petani dapat segera mengambil tindakan pencegahan dan pengendalian yang tepat sebelum penyakit tersebut menyebar lebih luas (Saputra et al., 2021). Ketepatan dalam memilih jenis bayam yang sesuai dengan sistem akuaponik yang digunakan juga akan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dan hasil panen. Implementasi teknologi ini berpotensi memperluas adopsi praktik akuaponik di berbagai kalangan, dari petani komersial hingga urban farming, mendorong produksi pangan yang lebih berkelanjutan, dan meningkatkan ketahanan pangan masyarakat melalui pemanfaatan teknologi digital dalam sistem pertanian modern (Yusidah and Nurirhani, 2022). Melalui pendekatan ini, petani akuaponik dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi kerugian akibat penyakit tanaman, dan memaksimalkan potensi produksi bayam dalam sistem akuaponik, sementara secara simultan mendukung transisi menuju sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan dengan penggunaan air dan lahan yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional, mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia melalui deteksi dini yang memungkinkan intervensi biologis yang lebih tepat

waktu, serta memperluas aksesibilitas informasi pertanian berkualitas tinggi kepada komunitas petani yang sebelumnya terpinggirkan karena keterbatasan geografis atau ekonomi, sehingga berkontribusi terhadap demokratisasi pengetahuan pertanian dan mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan terkait keamanan pangan, penghidupan pedesaan, dan pelestarian lingkungan (Rimon et al., 2022).

1.2 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan 10 penelitian terdahulu, sebagian besar fokus pada penerapan dan pengembangan model deep learning seperti CNN, MobileNet, dan Vision Transformer untuk klasifikasi penyakit tanaman berbasis citra daun. Penelitian-penelitian tersebut banyak dilakukan pada komoditas utama seperti padi, jagung, tomat, dan kedelai, serta menekankan efisiensi model dalam hal akurasi, kecepatan, dan implementasi pada perangkat mobile. Namun, belum ditemukan penelitian yang secara khusus menerapkan pendekatan ini pada sistem pertanian terintegrasi seperti akuaponik, khususnya untuk tanaman sayuran daun seperti bayam. (Sigitta, Saputra and Fathulloh, 2023) Keunggulan utama dari sistem ini adalah kemampuannya mengintegrasikan teknologi deep learning berbasis MobileNet dan transfer learning ke dalam aplikasi mobile yang mudah diakses di lapangan. Sistem ini dirancang untuk membantu petani akuaponik dalam memantau kesehatan tanaman bayam secara real-time, meski dengan keterbatasan jumlah data. Dukungan teknik augmentasi citra memungkinkan sistem mempertahankan performa klasifikasi yang tinggi, sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumber daya pada perangkat terbatas. Dengan demikian, sistem ini diharapkan menjadi solusi komputasi cerdas yang praktis dan efektif dalam mendukung pertanian akuaponik yang berkelanjutan, produktif, dan berbasis teknologi ramah lingkungan (Teng et al., 2025).

1.3 Permasalahan yang akan dipecahkan

Berdasarkan uraian State of the Art yang telah diuraikan, terdapat beberapa permasalahan utama yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah :

- a. Belum terdapat penelitian yang menerapkan deteksi penyakit daun pada tanaman bayam dalam sistem akuaponik.
- b. Tingginya tingkat kesulitan dalam membedakan gejala penyakit yang mirip pada dataset terbatas, sehingga berisiko menyebabkan model mengalami *overconfidence* atau *overfitting*. Keterbatasan dan ketidakseimbangan (*imbalance*) jumlah dataset citra daun bayam yang dapat menyebabkan model bias terhadap kelas mayoritas, sehingga memerlukan teknik rekayasa data khusus sebelum proses pelatihan.
- c. Kebutuhan akan metode evaluasi yang lebih kuat di sisi pengguna (*inference*) agar hasil deteksi tetap akurat meskipun kualitas pengambilan gambar di lapangan bervariasi.
- d. Belum ada solusi deteksi penyakit tanaman sayur yang dapat digunakan secara *real-time* oleh petani akuaponik di lapangan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, menyeimbangkan dataset, dan membangun model klasifikasi penyakit daun bayam menggunakan arsitektur MobileNetV2 yang dioptimasi dengan metode *Two-Phase Training*, fungsi *Focal Loss*, serta teknik *MixUp Augmentation* untuk mengatasi keterbatasan dan ketidakseimbangan data. Model kemudian dikonversi ke dalam format *TensorFlow Lite (TFLite)* agar siap diintegrasikan ke dalam aplikasi mobile. Sistem ini diharapkan mampu mengklasifikasikan empat jenis penyakit utama pada bayam, yaitu *Anthracnose*, *Bacterial Spot*, *Downy Mildew*, dan *Pest Damage*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan mengimplementasikan metode *Test-Time Augmentation (TTA)* pada aplikasi *mobile* guna meningkatkan stabilitas dan akurasi prediksi akhir secara maksimal. Penelitian ini turut mengembangkan antarmuka aplikasi yang intuitif dan mudah digunakan oleh petani dengan berbagai tingkat literasi teknologi. Terakhir, dilakukan evaluasi

terhadap performa sistem dalam aspek akurasi, efisiensi, dan kegunaan praktis di lingkungan akuaponik yang sebenarnya.(Gontijo da Cunha *et al.*, 2023).

1.5 Manfaat Penelitian

a. Manfaat bagi Peneliti dan Akademisi

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi pertanian berbasis kecerdasan buatan (AI). Pertama, penelitian ini menyediakan model dan kerangka kerja yang dapat dikembangkan lebih lanjut dalam studi-studi lanjutan terkait AI dan pertanian. Kedua, penelitian ini memberikan data dan informasi yang relevan mengenai efektivitas arsitektur *MobileNet* dalam mendeteksi penyakit tanaman pada perangkat mobile, khususnya dalam konteks tanaman bayam. Ketiga, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan awal bagi pengembangan teknologi pertanian cerdas (*smart farming*) yang lebih komprehensif dan aplikatif di masa depan (Lu *et al.*, 2023).

b. Manfaat bagi Petani Akuaponik

Penelitian ini juga memiliki manfaat praktis yang signifikan bagi para petani, khususnya dalam konteks pertanian akuaponik. Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk memudahkan petani dalam mengidentifikasi penyakit bayam seperti *Anthrachnose*, *Bacterial Spot*, *Downy Mildew*, dan *Pest Damage* secara cepat dan akurat tanpa memerlukan peralatan laboratorium atau keahlian khusus. Dengan kemampuan deteksi dini, sistem ini juga dapat meningkatkan efisiensi manajemen tanaman dan membantu mengurangi kerugian hasil panen. Selain itu, aplikasi ini dirancang sebagai solusi teknologi tepat guna yang dapat diakses melalui perangkat smartphone, yang kini telah umum digunakan oleh masyarakat. Lebih jauh, sistem ini berpotensi mengurangi ketergantungan pada tenaga ahli atau pakar penyakit tanaman yang jumlahnya terbatas, terutama di daerah perdesaan (Nguyen *et al.*, 2023).