

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan defisiensi nutrisi pada tanaman cengkeh merupakan salah satu faktor yang berkontribusi signifikan terhadap penurunan produktivitas perkebunan di Indonesia. Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) merupakan komoditas rempah penting yang menjadikan Indonesia sebagai salah satu produsen terbesar di dunia, dan tren produksinya menunjukkan peningkatan dari tahun ke tahun [1]. Meskipun demikian, daya saing Indonesia masih berada di bawah beberapa negara kompetitor sehingga peningkatan kualitas produksi menjadi kebutuhan strategis untuk memperkuat posisi di pasar global [1]. Salah satu aspek yang menentukan kualitas tersebut adalah kondisi kesehatan tanaman, terutama terkait kecukupan unsur hara yang berperan dalam pertumbuhan daun, pembentukan bunga, dan produktivitas jangka panjang.

Kesehatan tanaman umumnya tercermin dari kondisi daunnya, karena organ ini paling cepat menunjukkan respons terhadap perubahan nutrisi. Penelitian mengenai kandungan mikronutrien pada daun cengkeh menjelaskan bahwa organ ini mengandung unsur esensial seperti kalsium, kalium, tembaga, magnesium, dan fosfor yang berperan dalam proses metabolisme dan fotosintesis [2]. Ketidakseimbangan unsur tersebut dapat terlihat melalui gejala visual berupa klorosis, bercak, perubahan rona warna, ataupun pola nekrosis tertentu. Namun, gejala antar jenis defisiensi sering kali memiliki kemiripan sehingga identifikasi manual menjadi sulit, terutama pada area perkebunan yang luas.

Seiring meningkatnya kebutuhan identifikasi yang lebih cepat dan konsisten, teknologi kecerdasan buatan mulai dimanfaatkan untuk menganalisis gejala visual pada daun. *Convolutional Neural Network (CNN)* banyak digunakan karena kemampuannya dalam mengekstraksi fitur visual seperti tekstur, pola klorosis, dan variasi warna [3],[4]. Meskipun efektif, *CNN* masih memiliki keterbatasan dalam memahami relasi spasial antar bagian daun, karena pemrosesan fitur dilakukan secara lokal. Dalam kasus defisiensi nutrisi yang pola penyebaran

gejalanya tidak merata, pemahaman atas hubungan antar area daun menjadi penting untuk mendukung diagnosis yang lebih tepat [3], [5].

Keterbatasan tersebut melatarbelakangi pemanfaatan pendekatan berbasis *graph* yang mampu memodelkan hubungan spasial secara eksplisit. *Graph Convolutional Network (GCN)* mulai digunakan karena memungkinkan representasi citra dalam bentuk *graph*, di mana area daun direpresentasikan sebagai node yang saling terhubung[6]. Dengan cara ini, model dapat menangkap pola penyebaran gejala yang lebih komprehensif dibandingkan *CNN* murni. Studi PND-Net menunjukkan bahwa integrasi *CNN* dan *GCN* mampu memperkuat representasi fitur dalam mendeteksi defisiensi nutrisi pada tanaman, di mana *CNN* berperan sebagai ekstraktor fitur awal sedangkan *GCN* memodelkan relasi struktural antar bagian citra [7].

Selain pendekatan hybrid, penelitian berbasis transfer learning juga telah menunjukkan hasil yang baik pada berbagai komoditas, seperti deteksi defisiensi nutrisi pada basil menggunakan *VGG16* [8] dan pada tanaman tomat menggunakan kombinasi pretrained *CNN* dan *SVM* [7]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih mengandalkan fitur visual dasar dan belum memanfaatkan struktur relasional yang lebih kompleks. Pendekatan *graph* modern seperti kombinasi *MobileNetV2* dan *GraphSAGE* bahkan terbukti lebih robust terhadap variasi kondisi lingkungan [9]. Representasi superpixel yang diperlakukan sebagai node *graph* juga memperkuat efektivitas model karena dapat menangkap gejala halus yang sering tidak terdeteksi oleh *CNN* konvensional [10],[11].

Walaupun berbagai penelitian telah dilakukan pada tanaman seperti padi, jagung, kedelai, basil, dan tomat, penerapan metode *CNN-GCN* pada daun cengkeh masih sangat terbatas. Karakteristik fisiologis daun cengkeh, seperti variasi pigmen, ketebalan jaringan, dan pola klorosis spesifik akibat defisiensi nutrisi, membuat temuan pada tanaman lain tidak dapat langsung digeneralisasikan. Minimnya dataset publik juga meningkatkan risiko overfitting dalam pemodelan deep learning. Oleh karena itu, penggunaan pendekatan *graph* yang dipadukan dengan *CNN* menjadi relevan untuk memperkuat ketahanan (robustness) serta kestabilan representasi fitur dalam mendeteksi defisiensi nutrisi pada daun cengkeh.

Meningkatnya kebutuhan sistem monitoring tanaman yang cepat, akurat, dan mudah diakses oleh petani, pengembangan model deteksi defisiensi nutrisi berbasis *CNN–GCN* dari citra warna daun cengkeh menjadi peluang yang penting. Pendekatan ini tidak hanya mendukung pengambilan keputusan pemupukan yang lebih tepat, tetapi juga sejalan dengan perkembangan teknologi pertanian presisi yang memanfaatkan deep learning untuk pemantauan kesehatan tanaman secara real time. Dengan demikian, integrasi *CNN* dan *GCN* berpotensi memberikan solusi inovatif yang relevan bagi peningkatan produktivitas perkebunan cengkeh di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil deteksi defisiensi unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) pada daun cengkeh berbasis citra warna menggunakan *GCN*?
2. Bagaimana analisis hasil evaluasi prediksi yang dihasilkan oleh model *GCN* dalam mendeteksi defisiensi N, P, dan K pada daun cengkeh?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Untuk menghasilkan sistem deteksi defisiensi unsur hara N, P, dan K pada daun cengkeh berbasis citra warna menggunakan *GCN*.
2. Untuk mengetahui hasil analisis kinerja model *Graph Convolutional Network (GCN)* dalam mendeteksi defisiensi unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) berdasarkan hasil evaluasi menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus dan terarah, batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan citra daun cengkeh sebagai objek analisis untuk mendeteksi adanya indikasi defisiensi nutrisi.
2. Analisis kondisi daun menggunakan model MobileNetV2 yang mengekstrak informasi warna, tekstur, dan bentuk daun, tanpa memperhitungkan gejala penyakit non-nutrisi.
3. Objek daun yang digunakan dibatasi pada daun cengkeh produktif (daun dewasa aktif), sehingga tidak menggunakan daun yang terlalu muda (pucuk) maupun daun yang sudah tua.
4. Model klasifikasi dikembangkan menggunakan pendekatan hybrid *CNN-GCN* berbasis transfer learning, tanpa membandingkan seluruh jenis model deep learning yang tersedia.
5. Sistem yang dibangun hanya bertujuan melakukan identifikasi tingkat defisiensi nutrisi secara komputasional dan tidak dimaksudkan sebagai alat diagnosis agronomi profesional.
6. Penelitian ini menggunakan dataset terbatas yang dikumpulkan secara spesifik untuk penelitian ini, sehingga generalisasi model ke kondisi lapangan luas tetap memerlukan penelitian lanjutan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti
 - Menambah wawasan dan pengalaman dalam penerapan model hybrid *CNN-GCN* untuk klasifikasi citra tanaman.
 - Memberikan keterampilan dalam merancang alur kerja sistem deteksi berbasis AI, mulai dari pengumpulan data, ekstraksi fitur, hingga evaluasi model.

2. Bagi Petani dan Praktisi Pertanian

- Menyediakan alternatif alat bantu untuk mendeteksi defisiensi nutrisi daun cengkeh secara lebih cepat, objektif, dan efisien dibandingkan inspeksi manual.
- Mendukung pengambilan keputusan terkait pemupukan atau perbaikan kondisi tanaman.

3. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan

- Memberikan referensi ilmiah mengenai penerapan citra warna dan model hybrid *CNN-GCN* untuk monitoring kesehatan tanaman.
- Dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan seperti deteksi hama, penyakit, atau integrasi sensor berbasis IoT.

4. Bagi Institusi Pendidikan

- Menjadi bahan ajar atau contoh penelitian terapan di bidang machine learning, computer vision, dan pertanian presisi.

