

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cabai rawit merupakan komoditas hortikultura yang krusial di Indonesia, namun keberlanjutan produksinya sangat terancam oleh berbagai infeksi patogen yang merusak organ daun (Wahyuni dkk., 2024). Kendala terbesar dalam penyelamatan komoditas ini bermuara pada sulitnya proses klasifikasi dan identifikasi penyakit secara akurat. Pada tahap awal infeksi, berbagai jenis penyakit seperti mosaik, klorosis, atau bercak daun memiliki manifestasi visual yang saling tumpang tindih dan sangat identik antarjenis patogen (Wince Amsyah Natalia Zai dkk., 2025). Keterbatasan mata manusia dalam membedakan pola-pola patologis yang mirip ini mengakibatkan kesalahan diagnosis di lapangan, yang berujung pada penanganan yang keliru dan tingkat kerusakan yang semakin parah.

Dari perspektif komputasional, membangun sistem klasifikasi otomatis untuk membedakan penyakit daun cabai rawit di lingkungan terbuka (*open field*) menghadirkan tantangan visual yang sangat kompleks. Karakteristik anomali pada daun cabai memiliki variasi dimensi yang ekstrem; sebagian penyakit bermanifestasi sebagai perubahan global pada seluruh permukaan helaian daun (seperti daun mengeriting atau klorosis merata), sementara penyakit lainnya hanya berupa detail anomali mikroskopis di area tertentu (seperti titik lesi nekrotik atau lubang gigitan hama). Kompleksitas ini semakin diperberat oleh noise lingkungan nyata, seperti variasi intensitas pencahayaan, bayangan antar-dedaunan, hingga kemiripan warna daun dengan latar belakang tanah.

Untuk menaklukkan kerumitan klasifikasi visual tersebut, teknologi Computer Vision berbasis Deep Learning dituntut untuk memiliki kemampuan ekstraksi fitur yang luar biasa, baik secara makro maupun mikro. Saat ini, solusi untuk memecahkan masalah tersebut terbelah menjadi dua paradigma arsitektur mutakhir (*State of the Art*). Di satu sisi, Swin Transformer hadir dengan mekanisme shifted window yang sangat tangguh dalam pemodelan fitur secara global (*global dependencies*), sehingga ideal untuk mengenali pola penyakit yang menyebar di seluruh daun (Sun dkk., 2024). Di sisi lain, Con-vNeXt mewakili evolusi Modern CNN yang memiliki ketajaman ekstraksi detail fitur lokal secara hierarkis, yang sangat krusial untuk mengklasifikasikan bercak penyakit berukuran kecil (Huang dkk., 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah mengeksplorasi penerapan Deep Learning untuk klasifikasi penyakit tanaman, sebagian besar studi terdahulu masih menggunakan arsitektur konvensional seperti ResNet, VGG, atau MobileNet yang memiliki keterbatasan dalam menangkap relasi spasial jarak jauh (*long range dependencies*) pada citra daun (Ferentinos, 2018). Pada kasus penyakit cabai rawit, anomali visual seperti mosaik atau klorosis tersebar secara non-lokal di seluruh permukaan daun, sehingga memerlukan mekanisme *attention global* yang tidak dimiliki oleh CNN tradisional. Di sisi lain, penelitian yang mengadopsi Vision Transformer murni (ViT) menunjukkan performa suboptimal pada dataset skala kecil menengah karena ketergantungan tinggi terhadap data training dalam jumlah masif. Gap inilah yang menjadi urgensi untuk mengeksplorasi arsitektur hybrid modern yang menggabungkan kekuatan inductive bias CNN dengan kapasitas attention mechanism Transformer.

Swin Transformer dipilih karena arsitektur shifted window-nya mampu mengatasi kompleksitas komputasi Vision Transformer standar sambil mempertahankan kemampuan pemodelan fitur global secara hierarkis (Liu dkk., 2022). Berbeda dengan ViT yang membagi citra menjadi patch tetap, Swin Transformer menggunakan window attention yang bergeser secara bertahap, memungkinkan model menangkap pola penyakit multi skala dari gejala lokal (bercak nekrotik) hingga global (klorosis merata) tanpa kehilangan efisiensi. Penelitian terbaru menunjukkan Swin Transformer unggul pada tugas dense prediction seperti segmentasi dan object detection, yang relevan dengan karakteristik dataset penyakit daun yang memiliki boundary kabur antar-kelas.

Namun, kemampuan Swin Transformer dalam ekstraksi detail fitur lokal masih menjadi pertanyaan terbuka, terutama ketika dihadapkan pada lesi mikroskopis atau tekstur halus yang menjadi penanda kritis penyakit daun cabai. Di sinilah ConvNeXt menjadi kompetitor krusial sebagai arsitektur "modernisasi CNN" yang mengadopsi desain prinsip Transformer (seperti *layernorm*, GELU, dan *depth wise convolution*) namun tetap mempertahankan inductive bias konvolusional yang terbukti superior dalam pengenalan tekstur lokal (Liu dkk., 2022). Studi oleh (Woo dkk., 2023) menunjukkan ConvNeXt mencapai akurasi setara Swin Transformer pada ImageNet dengan efisiensi parameter lebih baik. Oleh karena itu, komparasi head to head antara kedua arsitektur ini menjadi esensial untuk menjawab pertanyaan penelitian fundamental: arsitektur mana yang lebih robust dalam menangani *trade off* antara fitur global-lokal pada dataset

penyakit daun cabai rawit dengan kondisi lingkungan nyata yang noise-heavy? Hingga saat ini, belum ada studi komprehensif yang secara empiris membandingkan kedua paradigma ini pada domain pertanian tropis, khususnya untuk tanaman cabai rawit di Indonesia.

Karena karakteristik penyakit daun cabai membutuhkan keseimbangan antara pengenalan fitur makro dan mikro, komparasi antara kedua paradigma ini menjadi sangat esensial. Penelitian ini menggunakan dataset primer penyakit daun cabai rawit dari lingkungan nyata yang pelabelannya divalidasi langsung oleh Pengamat Hama Penyakit. Melalui pendekatan komparatif ini, penelitian tidak hanya bertujuan mencari metrik akurasi tertinggi, tetapi secara empiris menentukan arsitektur mana yang paling optimal dan presisi dalam memecahkan masalah klasifikasi penyakit di ekosistem pertanian terbuka. Berdasarkan urgensi tersebut, peneliti menetapkan judul: "Klasifikasi Penyakit Daun Cabai Rawit Menggunakan Komparasi Arsitektur Swin Transformer dan ConvNeXt".

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yang didasarkan dari latar belakang penelitian di atas adalah :

1. Bagaimana mengklasifikasi penyakit daun cabai rawit di lingkungan terbuka menggunakan arsitektur Swin Transformer?
2. Bagaimana mengklasifikasi penyakit daun cabai rawit di lingkungan terbuka saat menggunakan arsitektur ConvNeXt?
3. Arsitektur manakah yang lebih optimal dan presisi antara Swin Transformer dan ConvNeXt dalam memecahkan masalah klasifikasi penyakit daun cabai rawit di ekosistem pertanian terbuka

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan klasifikasi penyakit pada daun cabai rawit di lingkungan terbuka secara presisi menggunakan arsitektur Swin Transformer.

2. Melakukan klasifikasi penyakit pada daun cabai rawit di lingkungan terbuka secara presisi menggunakan arsitektur ConvNeXt.
3. Menentukan model klasifikasi penyakit daun cabai rawit yang paling tangguh dan optimal berdasarkan hasil komparasi antara Swin Transformer dan ConvNeXt.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat teoritis dan praktis yang diharapkan dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi keilmuan yang signifikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Computer Vision dan Deep Learning, khususnya mengenai penerapan arsitektur *State of the Art* (SOTA) untuk klasifikasi patologi tanaman. Selain itu, penelitian ini menyumbangkan kontribusi teoritis berupa analisis komparatif (*benchmarking*) kinerja antara paradigma Attention yang mengunggulkan pemodelan fitur global secara menyeluruh (*Swin Transformer*) melawan paradigma Modern CNN yang mengutamakan ketajaman ekstraksi hierarki fitur lokal (ConvNeXt), saat dihadapkan pada dataset lapangan riil yang memiliki tingkat noise dan kompleksitas tinggi.

1. Manfaat Praktis

a. Bagi Akademik

- 1) Menjadi literatur rujukan dan fondasi teknis bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada implementasi arsitektur mutakhir (seperti keluarga Vision Transformer dan generasi baru CNN) untuk mendeteksi anomali pada daun tanaman.
- 2) Memberikan validasi akademis yang objektif mengenai tingkat keandalan dataset primer mandiri yang diambil langsung dari kondisi lingkungan pertanian di Banjar Pura, Desa Sebudi, Karangasem, sebagai basis pelatihan model kecerdasan buatan berkinerja tinggi.

b. Bagi Petani dan Praktisi Pertanian

- 1) Memberikan landasan teknologi cerdas untuk proses identifikasi dini kondisi daun cabai rawit (seperti membedakan kerusakan fisik akibat hama dengan infeksi patogen sistemik seperti virus mosaik dan bercak daun) secara lebih presisi, cepat, dan objektif.
- 2) Membantu petani dalam mengambil keputusan mitigasi atau penanganan tanaman secara tepat sasaran, sehingga dapat menekan biaya operasional pestisida yang tidak perlu dan mencegah penurunan produksi akibat serangan yang meluas.

c. Bagi Pengembang

- 1) Menjadi referensi teknis yang solid dalam pemilihan *backbone* arsitektur *deep learning* yang paling tangguh untuk diintegrasikan ke dalam ekosistem sistem pakar pertanian digital (*smart agriculture*).
- 2) Memberikan parameter ukur yang jelas mengenai *trade-off* (titik keseimbangan) antara tingkat akurasi maksimal SOTA, ukuran model (*model size*), dan kecepatan inferensi (*inference time*), sehingga pengembang dapat merancang arsitektur perangkat lunak yang paling efisien dengan kapasitas server komputasi atau cloud yang tersedia.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, terfokus, dan tidak menyimpang dari ruang lingkup yang telah ditetapkan, maka penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada klasifikasi penyakit daun cabai rawit menggunakan citra digital RGB yang diperoleh dari kondisi lingkungan pertanian terbuka (*open field*).
2. Kategori klasifikasi yang digunakan terbatas pada empat kelas, yaitu daun sehat, *leaf spot*, *mosaic*, dan *klorosis*, berdasarkan jenis penyakit yang paling dominan dan tervalidasi pada lokasi observasi penelitian.
3. Dataset yang digunakan merupakan dataset primer hasil akuisisi mandiri di area pertanian Banjar Pura, Desa Sebudi, Karangasem, dengan proses anotasi dan validasi kelas dilakukan bersama Pengamat Hama Penyakit (PHP).

4. Penelitian ini hanya melakukan komparasi performa dua arsitektur deep learning, yaitu Swin Transformer dan ConvNeXt, tanpa melibatkan arsitektur lain di luar ruang lingkup penelitian.
5. Penelitian berfokus pada analisis performa klasifikasi berdasarkan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, *confusion matrix*, serta efisiensi inferensi model.
6. Penelitian ini tidak membahas segmentasi area penyakit, deteksi objek multi-daun, maupun implementasi real-time pada perangkat edge computing atau perangkat mobile.
7. Variasi kondisi lingkungan seperti pencahayaan, bayangan, dan noise alami lapangan tetap dipertahankan dalam proses akuisisi data untuk merepresentasikan kondisi pertanian nyata.

