

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tomat (*Solanum lycopersicum L.*) merupakan salah satu komoditas hortikultura penting di Indonesia dengan produksi nasional mencapai sekitar 1,22 juta ton pada tahun 2025 berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS). Tomat memiliki prospek ekonomi yang baik dan menjadi bahan pangan penting yang banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi masyarakat. Kualitas dan cita rasa tomat sangat dipengaruhi oleh tingkat kematangannya karena berpengaruh langsung terhadap warna, tekstur, rasa, kandungan nutrisi, dan daya simpan pascapanen [1]. Penentuan tingkat kematangan yang tepat menjadi faktor penting dalam menjaga mutu produk, meningkatkan efisiensi distribusi, serta meminimalkan kerusakan selama proses penyimpanan dan pengolahan hasil pertanian [2]. Dibandingkan komoditas buah lainnya, tomat memiliki perubahan warna yang relatif jelas dan konsisten selama proses pematangan sehingga berpotensi dianalisis menggunakan pendekatan citra digital.

Hingga saat ini, penilaian kematangan tomat di lapangan sebagian besar masih dilakukan melalui observasi visual oleh pengamat. Karakteristik yang digunakan sebagai acuan meliputi warna permukaan, bentuk, dan tekstur yang muncul selama proses pematangan [3]. Selain itu, faktor lingkungan seperti pencahayaan dan banyaknya objek yang diperiksa dapat memengaruhi jumlah buah yang harus dievaluasi [4]. Kondisi tersebut menyebabkan tingkat keseragaman hasil penilaian menjadi rendah dan menyulitkan penerapan standar yang konsisten, khususnya pada kegiatan panen dengan jumlah produksi skala besar. Kesalahan penentuan tingkat kematangan dapat menyebabkan variasi mutu hasil panen, menurunkan daya simpan, serta meningkatkan risiko kerusakan selama proses distribusi dan penyimpanan pascapanen [5]. Oleh sebab itu, dibutuhkan metode penilaian objektif dan konsisten yang mendukung proses klasifikasi tingkat kematangan tomat.

Perkembangan teknologi *computer vision* dan kecerdasan buatan menawarkan solusi untuk otomatisasi klasifikasi tingkat kematangan berbasis citra digital. Teknologi ini memungkinkan sistem melakukan identifikasi dan analisis karakteristik visual secara otomatis berdasarkan informasi citra yang diperoleh.

Metode *deep learning*, khususnya *Convolutional Neural Network* (CNN), efektif dalam mengekstraksi fitur lokal seperti warna dan tekstur [6]. Salah satu arsitektur yang banyak digunakan adalah EfficientNet karena mampu menghasilkan performa tinggi dengan jumlah parameter dan kompleksitas komputasi yang relatif efisien. Meskipun begitu, pendekatan ini masih memiliki keterbatasan dalam memahami hubungan antarbagian gambar secara menyeluruh. Di sisi lain, *Vision Transformer* (ViT) mampu memodelkan konteks global melalui mekanisme self-attention sehingga berpotensi meningkatkan kemampuan model dalam memahami keterkaitan antarbagian citra secara lebih menyeluruh [7].

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa klasifikasi tingkat kematangan tomat telah banyak dilakukan menggunakan arsitektur CNN dengan hasil akurasi yang cukup baik. Beberapa penelitian terbaru mulai menerapkan pendekatan *hybrid* berbasis *transformer*, seperti CNN-Transformer [8] dan ViT-SENet [9], yang menunjukkan kombinasi tersebut mampu meningkatkan pemahaman fitur lokal dan global pada citra. Penelitian Aboelenin dkk. [10] menunjukkan bahwa model *hybrid* CNN-ViT dapat menghasilkan performa tinggi pada tugas klasifikasi citra. Meskipun demikian, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan seperti perubahan kondisi pencahayaan, variasi latar belakang, kesulitan membedakan pola visual yang mirip antar kelas, serta performa model yang belum konsisten antararsitektur [11], [12]. Selain itu, beberapa penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan model tunggal saja, sehingga integrasi fitur lokal dan global belum dimanfaatkan secara optimal.

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, belum ditemukan penelitian yang secara khusus menerapkan kombinasi EfficientNet-B0 dan *Vision Transformer*-B/16 dalam satu arsitektur untuk mengklasifikasikan tiga kategori tingkat kematangan buah tomat menggunakan citra digital. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada penerapan dan evaluasi kombinasi kedua arsitektur tersebut guna memanfaatkan keunggulan fitur lokal dan global secara bersamaan pada tugas klasifikasi. Melalui pendekatan tersebut, model diharapkan mampu menghasilkan akurasi yang lebih akurat, stabil, dan adaptif terhadap variasi kondisi pencahayaan maupun lingkungan, serta mendukung implementasi pertanian cerdas (*smart agriculture*) berbasis kecerdasan buatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, penelitian ini difokuskan pada beberapa pertanyaan berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan model *hybrid* EfficientNet-B0 dan *Vision Transformer*-B/16 yang mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan tomat berbasis citra digital?
2. Bagaimana mengevaluasi kinerja model *hybrid* EfficientNet-B0 dan *Vision Transformer*-B/16 menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, tujuan yang ingin dicapai oleh penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan model *hybrid* EfficientNet-B0 dan *Vision Transformer*-B/16 yang mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan tomat berbasis citra digital.
2. Menganalisis dan mengevaluasi kinerja model *hybrid* EfficientNet-B0 dan *Vision Transformer*-B/16 menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat dilakukan secara terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, ruang lingkup penelitian dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Data yang digunakan berupa citra digital tomat yang dikelompokkan ke dalam tiga kategori kematangan, yaitu belum matang, setengah matang, dan matang.
2. Penelitian difokuskan pada klasifikasi tingkat kematangan tomat dan tidak mencakup deteksi objek maupun segmentasi citra.
3. Proses klasifikasi dilakukan berdasarkan karakteristik visual yang tampak pada buah tomat tanpa melibatkan parameter lain seperti aroma, tekstur fisik, ataupun kandungan kimia buah.

4. Implementasi sistem hanya menerima masukan berupa satu citra yang berisi satu buah tomat untuk setiap proses klasifikasi.
5. Sistem hanya dirancang untuk mengklasifikasikan buah tomat dan tidak digunakan untuk mengidentifikasi maupun mengklasifikasikan objek atau jenis buah selain tomat.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian klasifikasi tingkat kematangan buah tomat ini adalah sebagai berikut:

A. Bagi Peneliti dan Akademisi

Hasil penelitian ini dapat menambah wawasan dan referensi ilmiah terkait pemanfaatan metode *deep learning* untuk klasifikasi tingkat kematangan tomat. Penelitian ini dapat menjadi bahan rujukan bagi pengembangan studi selanjutnya yang berkaitan dengan pengolahan citra digital, *computer vision*, dan model *hybrid* berbasis CNN dan ViT.

B. Bagi Masyarakat Umum

Meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap produk pertanian lokal yang memiliki mutu lebih baik serta mendukung ketersediaan bahan pangan yang segar dan berkualitas melalui peningkatan efisiensi rantai pasok hortikultura.

C. Bagi Petani dan Pelaku Industri Pertanian

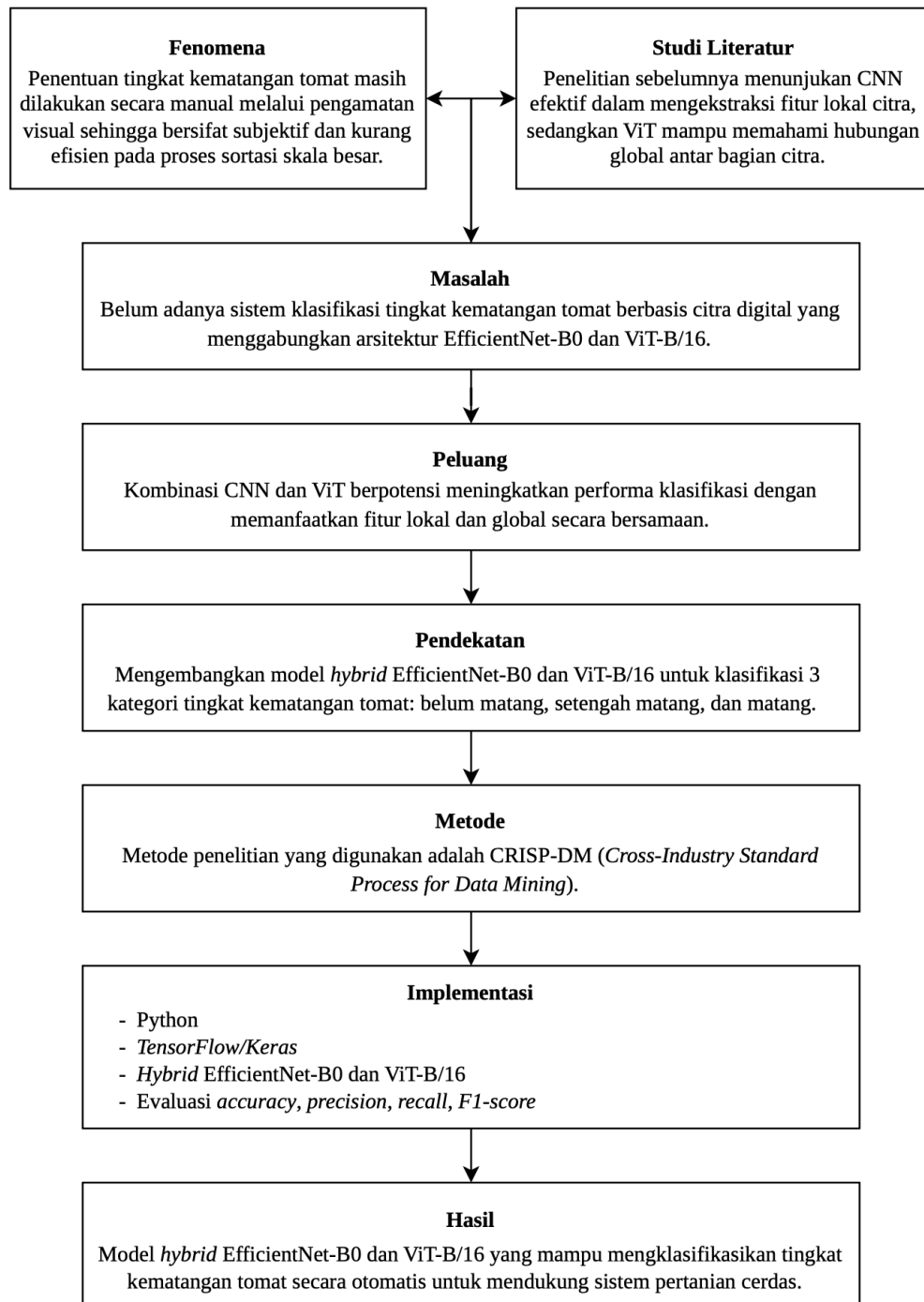
Membantu proses penentuan tingkat kematangan tomat secara lebih objektif, cepat, dan akurat sehingga dapat meningkatkan efisiensi panen, sortasi, serta produktivitas hasil pertanian.

D. Bagi Pemerintah dan Lembaga Penelitian

Mendukung implementasi digitalisasi pertanian cerdas (*smart agriculture*) serta menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan kebijakan dan inovasi teknologi pertanian berbasis kecerdasan buatan di Indonesia.

1.6 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian pada Gambar 1.1 disusun sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Kerangka ini menggambarkan keterkaitan antara permasalahan yang melatarbelakangi penelitian, proses analisis yang dilakukan, dan solusi yang diusulkan untuk menjawab permasalahan tersebut.



Gambar 1.1 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian ini disusun berdasarkan identifikasi permasalahan pada proses penentuan tingkat kematangan tomat yang masih mengandalkan pengamatan visual oleh petani. Metode tersebut bersifat subjektif dan berpotensi menghasilkan perbedaan hasil dalam penilaian kualitas buah. Berbagai studi literatur menunjukkan bahwa CNN efektif dalam mengenali karakteristik lokal citra, seperti warna dan tekstur, sedangkan *Vision Transformer* mampu menangkap konteks global citra. Kombinasi keduanya berpotensi meningkatkan akurasi klasifikasi.

Permasalahan yang dirumuskan adalah belum adanya sistem otomatis berbasis pengolahan citra digital yang mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan tomat secara objektif dan akurat. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi tingkat kematangan tomat berbasis citra digital dengan memanfaatkan arsitektur *hybrid* EfficientNet-B0 dan *Vision Transformer-B/16*. Pengembangan sistem dilakukan dengan tahapan CRISP-DM, yang meliputi pemahaman bisnis, pemahaman data, persiapan data, pemodelan, evaluasi, dan penerapan.

Model diimplementasikan menggunakan dataset citra tomat yang terdiri dari tiga tingkat kematangan. Performa model kemudian dievaluasi dengan beberapa metrik, yaitu *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh model klasifikasi yang mampu mengidentifikasi tingkat kematangan tomat secara otomatis dengan hasil yang akurat dan konsisten sehingga dapat mendukung penerapan teknologi pertanian cerdas. (*smart agriculture*).

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini berfungsi memberikan gambaran tentang susunan serta alur pembahasan dalam laporan penelitian. Adapun pembagian isi setiap bab dijelaskan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, kerangka pemikiran, serta sistematika penulisan. Bab ini menjadi dasar dan arah penelitian yang akan dikembangkan pada bab-bab selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat landasan teori, konsep-konsep pendukung, serta hasil studi terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Pembahasan pada bab ini digunakan sebagai dasar konseptual dalam penyusunan metode dan pengembangan sistem.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi tahapan penelitian yang dilakukan, mulai dari pengumpulan dan pengolahan data, perancangan model, hingga metode evaluasi yang digunakan dalam penelitian. Metodologi yang dijelaskan pada bab ini menjadi dasar dalam pelaksanaan pengujian sistem pada bab selanjutnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil dari implementasi model serta analisis terhadap kinerja sistem yang telah dikembangkan berdasarkan tujuan penelitian yang sudah ditetapkan sebelumnya.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan ringkasan hasil penelitian, kesimpulan yang didapat, serta rekomendasi untuk pengembangan yang akan dilakukan oleh penelitian pada masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisi seluruh referensi yang dipakai sebagai sumber teori, metode, dan informasi pendukung dalam menyusun penelitian ini.