

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cabai merah (*Capsicum annuum L.*) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi karena banyak dikonsumsi sebagai bahan utama maupun pelengkap dalam berbagai masakan masyarakat Indonesia [1]. Pada tahun 2024, cabai juga tercatat sebagai salah satu komoditas sayuran dengan produksi terbesar kedua di Indonesia[2]. Tingkat kematangan buah pada satu tanaman tidak selalu seragam, sehingga buah matang dan tidak matang dapat ditemukan secara bersamaan dalam satu area tanaman [3]. Kondisi tersebut menyebabkan proses pemanenan dilakukan secara selektif (*selective harvesting*) dan masih bergantung pada ketelitian pekerja dalam menentukan buah yang layak dipanen [4]. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem otomatisasi yang mampu mengenali tingkat kematangan cabai dan mendukung proses pemanenan secara lebih efisien.

Perkembangan *computer vision* dan *deep learning* telah banyak dimanfaatkan untuk otomatisasi pertanian karena mampu memperoleh informasi visual objek secara otomatis dari citra[5], [6]. Salah satu algoritma yang banyak digunakan adalah *You Only Look Once* (YOLO) karena memiliki kemampuan inferensi yang relatif cepat sehingga sesuai untuk aplikasi *real-time*[6]. Pada penelitian ini digunakan YOLOv8n berbasis *instance segmentation*, karena selain menghasilkan kelas dan *bounding box*, metode ini juga menghasilkan *mask* untuk setiap objek secara individual. Gamani et al. menunjukkan bahwa YOLOv8 dapat digunakan untuk *instance segmentation* berbagai tahap perkembangan buah sehingga relevan dalam membedakan kondisi kematangan buah [7].

Informasi *instance mask* juga dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan karakteristik geometris buah. Li et al. mengembangkan metode *improved YOLOv8n-Seg* untuk segmentasi buah dan tangkai jeruk, kemudian memanfaatkan hubungan geometris antara buah dan tangkai untuk menentukan *picking point*[8]. Pada penelitian ini, karakteristik geometris *instance mask* cabai

dimanfaatkan untuk memperoleh kontur, *centroid*, dan orientasi utama buah menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA), kemudian digunakan untuk menentukan titik potong dalam koordinat citra (u_{cut}, v_{cut}).

Pada kondisi terdapat beberapa cabai dalam satu bidang pandang, robot juga harus mampu memilih satu target dan mempertahankannya selama proses pendekatan. Xiong et al. menerapkan deteksi dan *tracking* pada robot pemetik buah dalam kondisi berkelompok melalui *closed visual loop*[9], sedangkan Luo et al. menunjukkan bahwa *target ambiguity* menjadi salah satu permasalahan pada kondisi *multi-fruit* dan bahwa penggunaan informasi target serta representasi global dan lokal dapat membantu mempertahankan konsistensi target [10]. Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini menerapkan mekanisme *target selection* dan *target lock* agar satu cabai matang tetap dipertahankan sebagai target aktif selama satu siklus pendekatan.

Untuk mengarahkan manipulator menuju target, digunakan kamera RGB dengan konfigurasi *eye-in-hand*, yaitu kamera dipasang pada bagian manipulator sehingga citra terbaru dapat diperoleh setelah robot bergerak. Pendekatan *eye-in-hand Visual Servoing* telah digunakan pada robot pemanen untuk memperbarui posisi manipulator berdasarkan informasi visual selama proses pendekatan[11]. Pada penelitian ini diterapkan metode *Visual Servoing step-look*, yaitu robot bergerak secara inkremental, berhenti, memperoleh citra baru, kemudian menghitung kembali error titik potong terhadap *desired image point*. Pendekatan *look-and-move* juga telah digunakan pada sistem pemanen buah untuk memperbarui informasi visual selama proses manipulasi[9]. Koreksi lateral dilakukan pada sumbu Y dan Z, sedangkan pendekatan longitudinal dilakukan pada sumbu X setelah error berada dalam toleransi. Selama pendekatan longitudinal, perubahan luas *instance mask* digunakan sebagai indikator visual relatif terhadap perubahan kedekatan target, bukan sebagai estimasi jarak absolut.

Pemrosesan citra dilakukan menggunakan NVIDIA Jetson Orin Nano yang mendukung akselerasi model *deep learning* untuk aplikasi *edge computing*[12]. Model YOLOv8n-Seg hasil pelatihan dioptimasi menggunakan TensorRT FP16

untuk meningkatkan efisiensi inferensi pada perangkat. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem persepsi dan *Visual Servoing* pada Robot *Mobile Chilli Picker* dengan mengintegrasikan YOLOv8n-Seg, *target lock*, estimasi titik potong berbasis geometri *mask* dan PCA, serta *Visual Servoing step-look* menggunakan kamera RGB *eye-in-hand*. Sistem tersebut diintegrasikan dengan robot manipulator 5-DOF berbasis STM32 untuk mengarahkan robot menuju kondisi pemetikan secara bertahap.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja YOLOv8n-Seg yang dioptimalkan menggunakan TensorRT Engine dan FP16 dalam mendeteksi dan mensegmentasi cabai matang serta belum matang secara *real-time* pada NVIDIA Jetson Orin Nano?
2. Bagaimana kinerja *uncalibrated image-based visual servoing* berbasis *empirical Jacobian* dalam menghasilkan koreksi sistem koordinat Kartesian untuk meminimalkan *error* posisi *cut-point* terhadap *desired point* pada robot manipulator 5-DOF?
3. Bagaimana kinerja integrasi kontrol berbasis informasi visual dengan sistem gerak robot dalam mencapai pemetikan cabai secara otomatis?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi YOLOv8n-Seg yang dioptimalkan menggunakan TensorRT untuk mendeteksi dan mensegmentasi cabai matang serta belum matang secara *real-time* pada NVIDIA Jetson Orin Nano.
2. Merancang dan mengevaluasi *uncalibrated image-based visual servoing* berbasis *empirical Jacobian* untuk menghasilkan koreksi Kartesian yang

dapat meminimalkan *error* posisi *cut-point* terhadap *desired point* pada robot manipulator 5-DOF.

3. Mengintegrasikan kontrol berbasis informasi visual dengan sistem gerak robot untuk mencapai kondisi pemetikan dan melakukan proses pemetikan cabai secara otomatis.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan sistem persepsi berbasis YOLOv8n-Seg yang dapat dijalankan secara *real-time* pada NVIDIA Jetson Orin Nano untuk memperoleh informasi kelas, lokasi, dan *instance mask* cabai.
2. Memberikan implementasi *uncalibrated image-based visual servoing* berbasis *empirical Jacobian* sebagai metode koreksi gerak Kartesian robot manipulator berdasarkan error fitur visual.
3. Menghasilkan integrasi sistem persepsi, kontrol visual, dan sistem gerak robot sebagai bagian dari pengembangan *Robot Mobile Chilli Picker* untuk melakukan pemetikan cabai secara otomatis.

1.5 Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini, terdapat cakupan batasan masalah yang bertujuan untuk fokus pada tujuan utama. Batasan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian berupa cabai merah besar (*Capsicum annuum L.*) yang dikelompokkan menjadi dua kelas, yaitu cabai matang dan cabai belum matang.
2. Sistem persepsi menggunakan YOLOv8n-Seg berbasis *instance segmentation* untuk menghasilkan informasi kelas, *bounding box*, *confidence score*, dan *instance mask*. Model diimplementasikan pada NVIDIA Jetson Orin Nano serta dioptimalkan menggunakan TensorRT FP16 untuk mendukung inferensi secara *real-time*.

3. Kamera yang digunakan adalah kamera RGB Orbbec Astra Pro dengan konfigurasi *eye-in-hand*. Kanal depth tidak digunakan sebagai masukan utama dalam proses *Visual Servoing*.
4. Target pemetikan difokuskan pada cabai matang. Pada kondisi multi-cabai, satu target dipilih dan dipertahankan menggunakan mekanisme *target locking* selama proses pendekatan.
5. Titik potong ditentukan berdasarkan karakteristik geometris *instance mask* menggunakan kontur, *centroid*, dan orientasi utama objek melalui Principal Component Analysis (PCA), kemudian dinyatakan sebagai fitur visual dalam koordinat citra (u,v).
6. Metode kontrol menggunakan *uncalibrated image-based visual servoing* berbasis *empirical Jacobian*, sehingga hubungan perubahan fitur citra terhadap koreksi Kartesian diperoleh secara empiris tanpa menggunakan *interaction matrix* analitik berbasis parameter intrinsik maupun ekstrinsik kamera.
7. Proses *Visual Servoing* dilakukan secara *step-look*. Koreksi posisi *cut-point* terhadap *desired point* dilakukan melalui gerak Kartesian pada sumbu Y–Z, sedangkan pendekatan longitudinal menuju target dilakukan pada sumbu X.
8. Perubahan luas *instance mask* digunakan sebagai informasi kedekatan relatif untuk menentukan pendekatan pada sumbu X dan tidak digunakan sebagai pengukuran jarak absolut dalam satuan metrik.
9. Pengujian dilakukan pada lingkungan yang relatif terkendali dengan target berada dalam bidang pandang kamera serta tidak secara khusus mengevaluasi kondisi ekstrem seperti perubahan pencahayaan drastis, gerakan target akibat angin, maupun oklusi penuh oleh daun atau objek lain.
10. NVIDIA Jetson Orin Nano digunakan untuk pemrosesan persepsi dan kontrol visual, sedangkan STM32F411CEU6 digunakan sebagai pengendali pergerakan robot manipulator 5-DOF.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Sistematika dari proposal laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bagian ini memuatkan latar belakang pembuatan, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah serta sistematika tugas akhir.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini membahas teori yang mendukung pelaksanaan tugas akhir, meliputi *computer vision*, YOLOv8n-Seg, *instance segmentation*, penentuan *cut-point*, *eye-in-hand Visual Servoing*, *empirical Jacobian*, serta optimasi inferensi pada NVIDIA Jetson Orin Nano.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas perancangan dan implementasi sistem yang meliputi diagram blok sistem, proses pelatihan dan pemilihan model YOLOv8n-Seg, optimasi inferensi pada NVIDIA Jetson Orin Nano, sistem deteksi dan segmentasi cabai, pemilihan dan penentuan *cut-point*, serta perancangan *uncalibrated image-based visual servoing* dan kontrol gerak Kartesian. Bab ini juga membahas perancangan elektrik dan metode pengujian yang digunakan.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini membahas hasil pengujian dan analisa kinerja YOLOv8n-Seg pada NVIDIA Jetson Orin Nano, pengujian *Visual Servoing* dalam meminimalkan *error cut-point*, serta pengujian integrasi kontrol hingga proses pemetikan cabai secara otomatis.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian dan analisis serta saran untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN