

**RANCANG BANGUN SISTEM PERSEPSI BERBASIS YOLOV8N-SEG DAN IMAGE-BASED VISUAL SERVOING PADA CHIMI-BOT (ROBOT ARM MOBILE CHILLI PICKER) MENGGUNAKAN NVIDIA JETSON NANO**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada  
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi  
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi  
Universitas Diponegoro



Oleh:  
Kezia Huminsa Ulina  
40040322650037

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2026**

**HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SISTEM PERSEPSI BERBASIS YOLOV8N-SEG DAN  
IMAGE-BASED VISUAL SERVOING PADA CHIMI-BOT (ROBOT ARM MOBILE CHILLI  
PICKER) MENGGUNAKAN NVIDIA JETSON NANO**

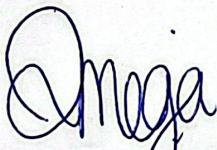
Diajukan oleh:

Kezia Huminsa Ulina

40040322650037

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

DOSEN PEMBIMBING



**Megarini Hersaputri, S.T., M.T.**

NIP. 198902142020122012

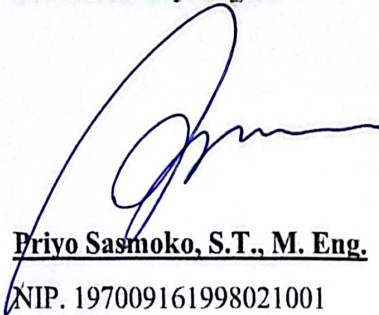
Tanggal : 25 September 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr.Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



**Priyo Sasmoko, S.T., M. Eng.**

NIP. 197009161998021001

Tanggal : 25 September 2026

**HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**RANCANG BANGUN SISTEM PERSEPSI BERBASIS YOLOV8N-SEG DAN**  
**IMAGE-BASED VISUAL SERVOING PADA CHIMI-BOT (ROBOT ARM MOBILE CHILLI PICKER)**  
**MENGGUNAKAN NVIDIA JETSON NANO**

Disusun oleh :

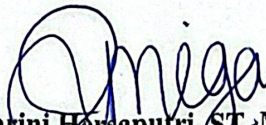
Kezla Huminsa Ulna

NIM 40040322650037

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji  
Jumat, 25 September 2026

Tim Penguji,

Dosen Pembimbing



Megarini Hersaputri, S.T., MT.

NIP. 198902142020122012

Penguji 1



Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

Penguji 2



Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier, S.Si., M.Si

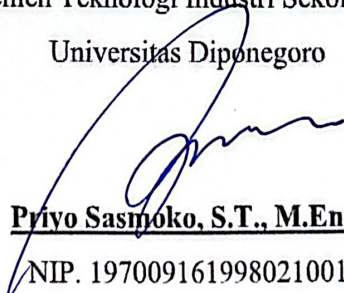
NIP. 199504152022041001

Mengetahui

Ketua Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Priyo Sasipoko, S.T., M.Eng.

NIP. 197009161998021001

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Kezia Huminsa Ulina

NIM : 40040322650037

Program Studi : S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Persepsi Berbasis YOLOv8n-Seg Dan  
*Image-Based Visual Servoing* pada Chimi-Bot (*Robot arm  
Mobile Chilli Picker*) menggunakan NVIDIA Jetson Nano

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ini ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 25 September 2026

Penulis



Kezia Huminsa Ulina

NIM 40040322650037

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur, saya panjatkan kepada Tuhan Yesus, atas berkat dan anugrah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Persepsi Berbasis YOLOv8n-Seg Dan *Image-Based Visual Servoing* Pada Chimi-Bot (*Robot arm Mobile Chilli Picker*) menggunakan NVIDIA Jetson Nano”. Penulis menyadari bahwa penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala dukungan, bimbingan, serta kontribusi yang telah diberikan. Ucapan terima kasih tersebut penulis sampaikan kepada:

1. Tuhan Yesus yang senantiasa menyertai dan memberkati penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ita Laura Siahaan, S.E dan Bapak Ir. Willius Halasan Parhusip ,M.Si (Alm), selaku orang tua tercinta penulis, yang tiada henti memberikan motivasi, doa, dan dukungan yang sangat berharga bagi penulis.
3. Kakak Valencia Angela Theodora Parhusip S.Ds., selaku kakak kandung penulis yang selalu memberikan semangat dan dukungan penuh selama proses perkuliahan.
4. Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
5. Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Otomasi.
6. Megarini Hersaputri, ST, MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan banyak membantu dengan sabar dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Rekan Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Otomasi angkatan 2022 serta semua pihak yang telah memberikan bantuan, informasi, dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Putri Laela Syafa'ati dan Rahmadhani, yang telah menjadi *support system* dan *safe place* bagi penulis selama mengerjakan tugas akhir. *Thank you for always being by my side and always believing in me.*
9. Rachel Patricia Estherina Siahaan, Cynthia Radinka Chandra, Saranietha Kadang, dan Angelyn S. Marya Pedorova, teman-teman *childhood devouge* penulis yang menjadi tempat yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir. *Thank you for growing up with me, for always being there, and for making every difficult moment feel a little lighter.*
10. Kepada teman griya cempaka Arum Sundari, Aureliya Helmaleni Nolalita, Vibby Riskasari, Novi Nadiasari, Nabila Fillah Attaqi, Zalfa Zahira, Vischa Delly Sartika, Yesserine Girlen Dashinta, dan Widya Lesticya, yang telah menjadi teman seperantauan bagi penulis sejak semester pertama. Terima kasih telah menemani hari-hari perkuliahan dengan berbagai cerita, canda, dan tawa di kos ka vibby, yang membuat masa perkuliahan penulis menjadi jauh lebih menyenangkan dan berkesan.
11. Felicia Amalia Rajagukguk, Nazhifa Fathia Taniza, Rahma Alya Nurfathia, Adriana Novita Hapsari, dan Li'izatul Diana Mangzil, teman-teman *Safe Flight* penulis selama mengikuti program IISMA di Inggris. *Thank you for making those memories so special, for filling my college years with laughter, and for always being an inspiration to me.*
12. Putri Dwi Saldra, Nadia Nur Rufaidhah, Firda Amanda Fitri, dan Elhida Fauzia Riannuha, sebagai teman-teman perempuan seperjuangan penulis di jurusan TRO. Terima kasih sudah menguatkan penulis selama masa tugas akhir ini.
13. Pandu Kukuh Kurniawan dan Fahmi Yudha Prasetya, sebagai partner kelompok tugas akhir saya. Terima kasih atas kerja sama dan bantuannya selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan

kritik yang bersifat membangun. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat, baik bagi pembaca maupun bagi penulis sendiri.

Semarang, 25 September 2026

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                               |              |
|---------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR .....</b>          | <b>ii</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....</b>            | <b>iii</b>   |
| <b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....</b>                   | <b>iv</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                    | <b>v</b>     |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                        | <b>viii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                     | <b>xi</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                     | <b>xiv</b>   |
| <b>DAFTAR SINGKATAN.....</b>                                  | <b>xvi</b>   |
| <b>INTISARI .....</b>                                         | <b>xxii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                         | <b>xxiii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                 | <b>1</b>     |
| 1.1 Latar Belakang .....                                      | 1            |
| 1.2 Perumusan Masalah .....                                   | 3            |
| 1.3 Tujuan Tugas Akhir .....                                  | 3            |
| 1.4 Manfaat Tugas Akhir .....                                 | 4            |
| 1.5 Batasan Masalah.....                                      | 4            |
| 1.6 Sistematika Tugas Akhir .....                             | 6            |
| <b>BAB II DASAR TEORI.....</b>                                | <b>7</b>     |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....                                    | 7            |
| 2.2 <i>Computer vision</i> .....                              | 9            |
| 2.2.1 <i>Object detection dan Instance segmentation</i> ..... | 10           |
| 2.2.2 YOLOv8-Seg .....                                        | 10           |
| 2.2.3 Evaluasi Model Segmentasi .....                         | 11           |
| 2.3 <i>Visual Servoing</i> .....                              | 13           |
| 2.3.1 <i>Image-Based Visual Servoing (IBVS)</i> .....         | 14           |
| 2.3.2 Fitur Visual dari <i>Mask Segmentasi</i> .....          | 15           |
| 2.3.3 <i>Uncalibrated dan Model-Free IBVS</i> .....           | 17           |
| 2.3.4 <i>Empirical Local Image Jacobian</i> .....             | 19           |
| 2.3.5 <i>Control law</i> .....                                | 20           |
| 2.3.6 <i>Active monocular range</i> .....                     | 22           |
| 2.4 Optimasi Inferensi Model .....                            | 24           |
| 2.5 NVIDIA Jetson Orin Nano.....                              | 24           |
| 2.6 Orbbec Astra Pro.....                                     | 25           |
| 2.7 STM32F411CEU6 .....                                       | 26           |
| 2.8 <i>Stepdown Converter XL4016</i> .....                    | 28           |
| 2.9 TFT LCD Module .....                                      | 30           |

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.10 Perangkat Lunak.....                                            | 31        |
| 2.10.1 Visual Studio Code .....                                      | 31        |
| 2.10.2 Google Colab .....                                            | 31        |
| 2.10.3 Roboflow.....                                                 | 32        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                               | <b>33</b> |
| 3.1 Diagram Blok.....                                                | 33        |
| 3.1.1 Diagram Blok Komponen .....                                    | 33        |
| 3.1.2 Diagram Blok Aritektur Kontrol Visual .....                    | 38        |
| 3.2 Flowchart Sistem.....                                            | 40        |
| 3.2.1 Sistem Keseluruhan.....                                        | 40        |
| 3.2.2 <i>Training Model</i> .....                                    | 42        |
| 3.2.3 Sistem Deteksi Cabai .....                                     | 45        |
| 3.2.4 <i>Visual Servoing and Approach Control</i> .....              | 48        |
| 3.3 Desain 3D Perancangan .....                                      | 49        |
| 3.4 Cara Pembuatan .....                                             | 51        |
| 3.5 Teknik Fabrikasi.....                                            | 55        |
| 3.5.1 Alat dan Bahan.....                                            | 55        |
| 3.5.2 Perancangan <i>Image Processing</i> .....                      | 56        |
| 3.5.3 Perancangan Optimasi Inferensi Model .....                     | 66        |
| 3.5.4 Perancangan <i>Hardware</i> .....                              | 69        |
| 3.5.5 Perancangan Komunikasi Jetson-STM32 .....                      | 72        |
| 3.6 Metode Pengujian dan Analisa.....                                | 76        |
| <b>BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA .....</b>                            | <b>78</b> |
| 4.1 Analisa Hasil <i>Training YOLOv8</i> .....                       | 78        |
| 4.1.1 Hasil <i>Training Model A</i> .....                            | 78        |
| 4.1.2 Hasil <i>Training Model B</i> .....                            | 81        |
| 4.1.3 Komparasi Hasil Pelatihan Model A dan Model B.....             | 84        |
| 4.2 Analisis Hasil Pengujian Model pada <i>Test set</i> .....        | 86        |
| 4.2.1 <i>Confusion matrix</i> .....                                  | 87        |
| 4.2.2 Metrik Evaluasi Per Kelas.....                                 | 89        |
| 4.2.3 Evaluasi Metrik Secara Keseluruhan .....                       | 92        |
| 4.2.4 Evaluasi berbasis <i>Precision-Recall Curve</i> .....          | 93        |
| 4.2.5 Komparasi Metrik Model A dan Model B .....                     | 96        |
| 4.2.6 Pengujian Model Final Pada <i>Test set Baru</i> .....          | 98        |
| 4.2.7 Pengujian Optimasi Model Terhadap <i>Latency</i> dan FPS ..... | 100       |

|                             |                                                                |            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3                         | Pengujian Kinerja Kendali <i>Visual Servoing</i> .....         | 101        |
| 4.3.1                       | Pengujian Respons Jacobian Empiris .....                       | 101        |
| 4.3.2                       | Pengujian Koreksi Error pada Pengulangan Cabai yang Sama ..... | 102        |
| 4.3.3                       | Pengujian Pendekatan pada Cabai dengan Ukuran Berbeda.....     | 109        |
| 4.4                         | Pengujian Integrasi Sistem Pemetikan Cabai Otomatis .....      | 112        |
| 4.4.1                       | Pengujian Urutan Kerja dan Durasi Siklus Pemetikan .....       | 112        |
| 4.4.2                       | Pengujian pemetikan multi-cabai .....                          | 117        |
| <b>BAB V</b>                | <b>PENUTUPAN .....</b>                                         | <b>123</b> |
| 5.1                         | Kesimpulan.....                                                | 123        |
| 5.2                         | Saran .....                                                    | 124        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b> |                                                                | <b>126</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>        |                                                                | <b>129</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2.1</b> Keluaran <i>Instance segmentation</i> .....                                                                                                                                                                     | 10 |
| <b>Gambar 2.2</b> <i>Confusion matrix</i> [22] .....                                                                                                                                                                              | 12 |
| <b>Gambar 2.3</b> Ilustrasi arah <i>eigenvector</i> pada data dua dimensi .....                                                                                                                                                   | 17 |
| <b>Gambar 2.4</b> Alur pengembangan dan optimasi model menggunakan TensorRT                                                                                                                                                       | 24 |
| <b>Gambar 2.5</b> Board Diagram NVIDIA Jetson Orin Nano Super Developer Kit<br>8GB[18] .....                                                                                                                                      | 25 |
| <b>Gambar 2.6</b> AstraPro RGB Camera[19].....                                                                                                                                                                                    | 26 |
| <b>Gambar 2.7</b> Pinout STM32F411CEU6[20] .....                                                                                                                                                                                  | 27 |
| <b>Gambar 2.8</b> Modul Stepdown XL4016[21].....                                                                                                                                                                                  | 28 |
| <b>Gambar 2.9</b> Skematik Modul Stepdown XL4016[21] .....                                                                                                                                                                        | 29 |
| <b>Gambar 2.10</b> TFT LCD <i>Touchscreen</i> 2.8 inch.....                                                                                                                                                                       | 30 |
| <b>Gambar 2.11</b> Tampilan Visual Studio Code[22].....                                                                                                                                                                           | 31 |
| <b>Gambar 2.12</b> Tampilan Google Colab[23] .....                                                                                                                                                                                | 32 |
| <b>Gambar 2.13</b> Tampilan proses anotasi dataset di Roboflow[25].....                                                                                                                                                           | 32 |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram Blok Sistem Keseluruhan.....                                                                                                                                                                            | 33 |
| <b>Gambar 3.2</b> Diagram Blok Arsitektur <i>Closed-Loop Step-look Uncalibrated image-<br/>based visual servoing</i> dengan <i>Fixed Empirical Jacobian</i> dan <i>Mask-Based Proximity</i><br>pada Robot Manipulator 5-DOF ..... | 39 |
| <b>Gambar 3.3</b> Flowchart Sistem Keseluruhan .....                                                                                                                                                                              | 41 |
| <b>Gambar 3.4</b> flowchart pelatihan model .....                                                                                                                                                                                 | 43 |
| <b>Gambar 3.5</b> Flowchart Sistem Deteksi dan Pemilihan Target Cabai Matang .....                                                                                                                                                | 45 |
| <b>Gambar 3.6</b> <i>Flowchart Visual Servoing and Approach Control</i> .....                                                                                                                                                     | 48 |
| <b>Gambar 3.7</b> Desain 3D Robot Mobile Chilli Picker.....                                                                                                                                                                       | 50 |
| <b>Gambar 3.8</b> Alat Tampak Samping .....                                                                                                                                                                                       | 51 |
| <b>Gambar 3.9</b> Alat Tampak Depan.....                                                                                                                                                                                          | 51 |
| <b>Gambar 3.10</b> Rangkaian Elektrikal Keseluruhan Sistem .....                                                                                                                                                                  | 52 |
| <b>Gambar 3.11</b> Skema Rangkaian Elektrikal Sistem Pengolahan Citra .....                                                                                                                                                       | 54 |
| <b>Gambar 3.12</b> Sampel Data.....                                                                                                                                                                                               | 57 |
| <b>Gambar 3.13</b> Proses Anotasi .....                                                                                                                                                                                           | 57 |
| <b>Gambar 3.14</b> Tampilan <i>Dataset split</i> Roboflow.....                                                                                                                                                                    | 58 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gambar 3.15</b> Contoh hasil augmentasi data pada citra cabai: (a) citra asli, (b) <i>horizontal flip</i> , (c) <i>crop</i> , (d) <i>rotation</i> , (e) <i>saturation</i> , (f) <i>brightness</i> , (g) <i>exposure</i> , (h) <i>blur</i> , dan (i) <i>noise</i> . ..... | 61  |
| <b>Gambar 3.16</b> Hasil Perakitan <i>Hardware</i> .....                                                                                                                                                                                                                    | 69  |
| <b>Gambar 3.17</b> Hasil Perakitan Elektrikal .....                                                                                                                                                                                                                         | 70  |
| <b>Gambar 3.18</b> Offset kamera dari <i>gripper</i> .....                                                                                                                                                                                                                  | 70  |
| <b>Gambar 3.19</b> Posisi <i>Gripper</i> di frame kamera.....                                                                                                                                                                                                               | 71  |
| <b>Gambar 3.20</b> HMI pada Chimi-Bot.....                                                                                                                                                                                                                                  | 72  |
| <b>Gambar 4.1</b> Kurva <i>Training loss</i> Model A.....                                                                                                                                                                                                                   | 79  |
| <b>Gambar 4.2</b> Kurva <i>Validation loss</i> Model A.....                                                                                                                                                                                                                 | 81  |
| <b>Gambar 4.3</b> Kurva <i>Training loss</i> Model B.....                                                                                                                                                                                                                   | 83  |
| <b>Gambar 4.4</b> Kurva <i>Validation loss</i> Model B.....                                                                                                                                                                                                                 | 84  |
| <b>Gambar 4.5</b> Komparasi mAP50-95 <i>Mask</i> Model A dan Model B .....                                                                                                                                                                                                  | 85  |
| <b>Gambar 4.6</b> Confusion Matriks <i>Testing set</i> Model A.....                                                                                                                                                                                                         | 87  |
| <b>Gambar 4.7</b> Confusion Matriks <i>Testing set</i> Model B.....                                                                                                                                                                                                         | 87  |
| <b>Gambar 4.8</b> Kurva <i>Precision-Recall</i> .....                                                                                                                                                                                                                       | 94  |
| <b>Gambar 4.9</b> Kurva <i>Precision-Recall</i> .....                                                                                                                                                                                                                       | 94  |
| <b>Gambar 4.10</b> Komparasi Grafik Presisi, <i>Recall</i> , dan FI-Score per-Kelas .....                                                                                                                                                                                   | 96  |
| <b>Gambar 4.11</b> Komparasi Metrik Keseluruhan Model A dan Model B .....                                                                                                                                                                                                   | 97  |
| <b>Gambar 4.12</b> Vision FPS dan Waktu Inferensi selama Pengendalian.....                                                                                                                                                                                                  | 101 |
| <b>Gambar 4.13</b> <i>Error</i> Horizontal dan Vertikal pada Lima Pengulangan.....                                                                                                                                                                                          | 104 |
| <b>Gambar 4.14</b> Norma <i>Error</i> Citra terhadap Waktu.....                                                                                                                                                                                                             | 105 |
| <b>Gambar 4.15</b> Lintasan <i>Cut-point</i> Menuju Daerah Toleransi .....                                                                                                                                                                                                  | 106 |
| <b>Gambar 4.16</b> Respons Posisi TCP Selama <i>Visual Servoing</i> .....                                                                                                                                                                                                   | 107 |
| <b>Gambar 4.17</b> Perubahan Luas <i>Mask</i> pada Lima Pengulangan .....                                                                                                                                                                                                   | 108 |
| <b>Gambar 4.18</b> 3D Trajectory pengulangan cabai yang sama posisinya.....                                                                                                                                                                                                 | 108 |
| <b>Gambar 4.19</b> Perubahan rasio luas <i>mask</i> selama pendekatan.....                                                                                                                                                                                                  | 110 |
| <b>Gambar 4.20</b> Perubahan luas <i>mask</i> terhadap perpindahan X .....                                                                                                                                                                                                  | 111 |
| <b>Gambar 4.21</b> Dokumentasi kondisi awal dan akhir pendekatan .....                                                                                                                                                                                                      | 111 |
| <b>Gambar 4.22</b> Trajectory Multi-Cabai Trial 1 .....                                                                                                                                                                                                                     | 118 |

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gambar 4.23</b> Tahapan <i>Visual Servoing</i> pada Pengujian Pemetikan Multi-Target Cabai Trial 1..... | 119 |
| <b>Gambar 4.24</b> Trajectory Multi-Cabai Trial 2 .....                                                    | 119 |
| <b>Gambar 4.25</b> Tahapan <i>Visual Servoing</i> pada Pengujian Pemetikan Multi-Target Cabai Trial 2..... | 120 |
| <b>Gambar 4.26</b> Trajectory Multi-Cabai Trial 3 .....                                                    | 121 |
| <b>Gambar 4.27</b> Tahapan <i>Visual Servoing</i> pada Pengujian Pemetikan Multi-Target Cabai Trial 3..... | 121 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Tinjauan Pustaka .....                                                                    | 7  |
| <b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi Jetson .....                                                                  | 25 |
| <b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi Astra RGB Camera .....                                                        | 26 |
| <b>Tabel 2.5</b> Spesifikasi STM32F411CEU6 .....                                                           | 27 |
| <b>Tabel 2.6</b> Spesifikasi Stepdown XL4016 .....                                                         | 29 |
| <b>Tabel 2.7</b> TFT LCD <i>Touchscreen</i> 2.8 inch .....                                                 | 30 |
| <b>Tabel 3.1</b> Sumber Daya yang Dibutuhkan Sistem .....                                                  | 37 |
| <b>Tabel 3.2</b> Konfigurasi I/O.....                                                                      | 55 |
| <b>Tabel 3.3</b> Alat dan Bahan .....                                                                      | 55 |
| <b>Tabel 3.4</b> Jumlah Anotasi Gambar .....                                                               | 58 |
| <b>Tabel 3.5</b> Pembagian Dataset .....                                                                   | 59 |
| <b>Tabel 3. 6</b> Konfigurasi <i>Data augmentation</i> .....                                               | 60 |
| <b>Tabel 3.7</b> Konfigurasi Pelatihan Model YOLOv8n-Seg .....                                             | 62 |
| <b>Tabel 3.8</b> Data Pengujian .....                                                                      | 64 |
| <b>Tabel 3.9</b> Konfigurasi Komunikasi Jetson–STM32 .....                                                 | 73 |
| <b>Tabel 3.10</b> Tahapan Finite State Machine Auto Pick.....                                              | 75 |
| <b>Tabel 4.1</b> Sample Log <i>Training loss</i> Model A.....                                              | 78 |
| <b>Tabel 4.2</b> Sample Log <i>Validation loss</i> Model A .....                                           | 80 |
| <b>Tabel 4.3</b> Sample Log <i>Training loss</i> Model B .....                                             | 82 |
| <b>Tabel 4.4</b> Sample Log <i>Validation loss</i> Model B .....                                           | 83 |
| <b>Tabel 4.5</b> Derivasi TP,FP, dan FN per Kelas pada Model A .....                                       | 88 |
| <b>Tabel 4.6</b> Derivasi TP,FP, dan FN per Kelas – Model B .....                                          | 88 |
| <b>Tabel 4.7</b> Perhitungan Akurasi, Presisi, <i>Recall</i> , dan Skor F1 Kelas Model A .....             | 89 |
| <b>Tabel 4.8</b> Perhitungan Akurasi, Presisi, <i>Recall</i> , dan Skor F1 Kelas Model B .....             | 90 |
| <b>Tabel 4.9</b> Perhitungan Akurasi, Presisi, <i>Recall</i> , dan Skor F1 Kelas Model A .....             | 91 |
| <b>Tabel 4.10</b> Perhitungan Akurasi, Presisi, <i>Recall</i> , dan Skor F1 Kelas Model B ...              | 91 |
| <b>Tabel 4.11</b> Perhitungan Macro <i>Precision</i> , Macro <i>Recall</i> dan Macro Skor F1 Model A.....  | 92 |
| <b>Tabel 4.12</b> Perhitungan Macro <i>Precision</i> , Macro <i>Recall</i> dan Macro Skor F1 Model B ..... | 92 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabel 4.13</b> Perhitungan <i>Mask</i> mAP@50 Model A.....                                  | 94  |
| <b>Tabel 4.14</b> Perhitungan <i>Mask</i> mAP@50 Model B.....                                  | 95  |
| <b>Tabel 4.15</b> Komparasi Metrik Keseluruhan .....                                           | 95  |
| <b>Tabel 4.16</b> Pengujian model final pada data pengujian.....                               | 98  |
| <b>Tabel 4.17</b> Kinerja <i>Runtime</i> pada Lima Pengulangan .....                           | 100 |
| <b>Tabel 4.18</b> Perubahan Sensitivitas Lokal pada Data <i>Probe</i> .....                    | 102 |
| <b>Tabel 4.19</b> Error Awal dan Error pada posisi READY .....                                 | 103 |
| <b>Tabel 4.20</b> Waktu READY dan Jumlah Langkah Pengendalian.....                             | 105 |
| <b>Tabel 4.21</b> Pose TCP pada READY .....                                                    | 107 |
| <b>Tabel 4.22</b> Perubahan Jarak dan Luas <i>Mask</i> pada Tiga Cabai .....                   | 109 |
| <b>Tabel 4.23</b> Kecocokan Model Empiris terhadap Data Kalibrasi LOS .....                    | 112 |
| <b>Tabel 4.24</b> Error visual dan durasi sepuluh siklus integrasi.....                        | 113 |
| <b>Tabel 4.25</b> Analisis Durasi Tahapan Satu Siklus Pemetikan Representatif .....            | 114 |
| <b>Tabel 4.26</b> Distribusi Waktu pada Fase <i>Visual Servoing</i> .....                      | 116 |
| <b>Tabel 4.27</b> Perbandingan Respons <i>Step-and-look</i> Sebelum dan Sesudah Optimasi ..... | 117 |
| <b>Tabel 4.28</b> Rekapitulasi Pengujian Multi-Cabai .....                                     | 122 |

## DAFTAR SINGKATAN

| Singkatan        | Definisi                                                                         |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ADC              | <i>Analog-to-Digital Converter</i>                                               |
| AGV              | <i>Automated Guided Vehicle</i>                                                  |
| AI               | <i>Artificial Intelligence</i>                                                   |
| AMP              | <i>Automatic Mixed Precision</i>                                                 |
| AP               | <i>Average Precision</i>                                                         |
| ARM              | <i>Advanced RISC Machine</i>                                                     |
| BMS              | <i>Battery Management System</i>                                                 |
| CNN              | <i>Convolutional Neural Network</i>                                              |
| CPU              | <i>Central Processing Unit</i>                                                   |
| CUDA             | <i>Compute Unified Device Architecture</i>                                       |
| DC               | <i>Direct Current</i>                                                            |
| DFL              | <i>Distribution Focal Loss</i>                                                   |
| DOF              | <i>Degrees of Freedom</i>                                                        |
| FN               | <i>False Negative</i>                                                            |
| FOV              | <i>Field of View</i>                                                             |
| FP16             | <i>16-bit floating point</i>                                                     |
| FP32             | <i>32-bit floating point</i>                                                     |
| FP               | <i>False Positive</i>                                                            |
| FPS              | <i>Frames Per Second</i>                                                         |
| FSM              | <i>Finite State Machine</i>                                                      |
| GPIO             | <i>General-Purpose Input/Output</i>                                              |
| GPU              | <i>Graphics Processing Unit</i>                                                  |
| HMI              | <i>Human–Machine Interface</i>                                                   |
| I/O              | <i>Input/Output</i>                                                              |
| IBVS             | <i>Image-Based Visual Servoing</i>                                               |
| INT8             | <i>8-bit integer</i>                                                             |
| IoU              | <i>Intersection over Union</i>                                                   |
| I <sup>2</sup> C | <i>Inter-Integrated Circuit</i>                                                  |
| LCD              | <i>Liquid Crystal Display</i>                                                    |
| LOS              | <i>Line of Sight</i>                                                             |
| LPDDR5           | <i>Low-Power Double Data Rate generasi kelima</i>                                |
| mAP              | <i>Mean Average Precision</i>                                                    |
| MIPI CSI         | <i>Mobile Industry Processor Interface Camera Serial Interface</i>               |
| ncnn             | <i>Nama pustaka inferensi jaringan saraf ncnn (bukan kepanjangan singkatan).</i> |
| NMS              | <i>Non-Maximum Suppression</i>                                                   |

| <b>Singkatan</b> | <b>Definisi</b>                                    |
|------------------|----------------------------------------------------|
| NVMe             | <i>Non-Volatile Memory Express</i>                 |
| ONNX             | <i>Open Neural Network Exchange</i>                |
| PCA              | <i>Principal Component Analysis</i>                |
| PR               | <i>Precision–Recall</i>                            |
| PWM              | <i>Pulse Width Modulation</i>                      |
| RAM              | <i>Random Access Memory</i>                        |
| RGB-D            | <i>Red, Green, Blue–Depth</i>                      |
| RGB              | <i>Red, Green, Blue</i>                            |
| RISC             | <i>Reduced Instruction Set Computer</i>            |
| RNN              | <i>Recurrent Neural Network</i>                    |
| ROI              | <i>Region of Interest</i>                          |
| SGD              | <i>Stochastic Gradient Descent</i>                 |
| SPI              | <i>Serial Peripheral Interface</i>                 |
| SSD              | <i>Solid-State Drive</i>                           |
| TCP              | <i>Tool Center Point</i>                           |
| TFT              | <i>Thin-Film Transistor</i>                        |
| TOPS             | <i>Tera Operations Per Second</i>                  |
| TP               | <i>True Positive</i>                               |
| UART             | <i>Universal Asynchronous Receiver–Transmitter</i> |
| USB              | <i>Universal Serial Bus</i>                        |
| YOLO             | <i>You Only Look Once</i>                          |

## DAFTAR SIMBOL

| Simbol                         | Keterangan                                                                                                                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $s_k$                          | Vektor fitur visual aktual pada iterasi ke-k; komponennya berupa koordinat citra (piksel).                                                    |
| $s^*$                          | Vektor posisi fitur visual yang menjadi acuan atau tujuan (piksel).                                                                           |
| $u_k, v_k$                     | Koordinat horizontal dan vertikal <i>cut-point</i> aktual pada iterasi ke-k (piksel).                                                         |
| $e_k$                          | Vektor <i>error</i> citra pada iterasi ke-k, yaitu selisih fitur aktual dan fitur acuan (piksel).                                             |
| $J_{YZ}$                       | Matriks Jacobian empiris yang menghubungkan gerak Y–Z dengan perubahan fitur citra (piksel/mm).                                               |
| $J_{YZ}^\dagger$               | <i>Moore–Penrose pseudoinverse</i> dari Jacobian empiris (mm/piksel).                                                                         |
| $\lambda$                      | Faktor pengali koreksi pada hukum kendali visual diskrit; tidak berdimensi.                                                                   |
| $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ | Perubahan posisi Kartesian pada sumbu X, Y, dan Z; $\Delta X$ juga digunakan untuk perpindahan pendekatan (mm).                               |
| $\Delta p$                     | Vektor koreksi posisi Kartesian yang dikirimkan kepada pengendali gerak robot (mm).                                                           |
| $u, v$                         | Koordinat horizontal dan vertikal fitur pada bidang citra (piksel).                                                                           |
| $u^*, v^*$                     | Koordinat horizontal dan vertikal posisi acuan pada citra (piksel).                                                                           |
| $e, e_u, e_v$                  | Vektor <i>error</i> citra serta komponen <i>error</i> horizontal dan vertikal (piksel).                                                       |
| $\ e\ _2$                      | Norma Euclidean vektor <i>error</i> citra (piksel).                                                                                           |
| $\dot{s}$                      | Laju perubahan vektor fitur citra terhadap waktu (piksel/s).                                                                                  |
| $L_s$                          | Matriks interaksi yang menghubungkan kecepatan kamera dengan laju perubahan fitur citra; satuan tiap kolom bergantung pada komponen geraknya. |
| $v_c$                          | Vektor kecepatan kamera yang terdiri atas komponen translasi dan rotasi.                                                                      |
| $M_p, M_{gt}$                  | <i>Mask</i> hasil prediksi dan <i>mask</i> acuan yang digunakan untuk menghitung kesesuaian segmentasi.                                       |
| $M(u, v)$                      | <i>Mask</i> biner pada koordinat citra (u, v): satu untuk piksel objek dan nol untuk piksel latar.                                            |
| $A, A_t$                       | Luas <i>mask</i> objek dan luas <i>mask</i> pada pengamatan t (piksel <sup>2</sup> ).                                                         |
| $m_{pq}$                       | Momen citra dengan orde p pada koordinat horizontal dan orde q pada koordinat vertikal.                                                       |

| Simbol                 | Keterangan                                                                                                                                                                          |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $p, q$                 | Indeks orde momen citra; berupa bilangan bulat taknegatif.                                                                                                                          |
| $c_u, c_v$             | Koordinat horizontal dan vertikal pusat geometris <i>mask</i> (piksel).                                                                                                             |
| $x_i$                  | Vektor koordinat titik kontur ke-i pada citra (piksel).                                                                                                                             |
| $c$                    | Vektor pusat data atau pusat geometris yang menjadi acuan analisis kontur (piksel).                                                                                                 |
| $C$                    | Matriks kovarians koordinat titik kontur pada analisis komponen utama.                                                                                                              |
| $N$                    | Banyaknya titik kontur pada perhitungan PCA; pada perhitungan mAP, N menyatakan jumlah kelas. Maknanya mengikuti persamaan yang digunakan.                                          |
| $e_1, e_2$             | Vektor eigen utama dan vektor eigen kedua matriks kovarians. Pada persamaan PCA, indeks k menunjukkan vektor eigen ke-k, berbeda dari <i>error</i> pada iterasi ke-k dalam kendali. |
| $\lambda_1, \lambda_2$ | Nilai eigen matriks kovarians, diurutkan dari yang terbesar ke yang lebih kecil. Berbeda dari $\lambda$ sebagai faktor pengali kendali.                                             |
| $p_{cut}$              | Vektor koordinat titik potong yang ditentukan dari geometri <i>mask</i> (piksel).                                                                                                   |
| $d$                    | Pada penentuan titik potong: jarak pergeseran dari pusat <i>mask</i> sepanjang sumbu utama (piksel). Pada estimasi jarak monokular: perpindahan kamera menuju target (mm).          |
| $v_b, y_b$             | Koordinat vertikal batas bawah <i>mask</i> ; notasi pertama digunakan pada teori dan notasi kedua pada uraian alur kendali (piksel).                                                |
| $u_{min}, u_{max}$     | Batas minimum dan maksimum koordinat horizontal citra (piksel).                                                                                                                     |
| $v_{min}, v_{max}$     | Batas minimum dan maksimum koordinat vertikal citra (piksel).                                                                                                                       |
| $m_u, m_v$             | Margin pengaman pada arah horizontal dan vertikal citra (piksel).                                                                                                                   |
| $\Delta s$             | Perubahan vektor fitur citra akibat perpindahan robot (piksel).                                                                                                                     |
| $q, \Delta q_j$        | Vektor posisi gerak robot dan perpindahan kecil pada komponen ke-j untuk memperkirakan Jacobian; untuk gerak translasi Kartesian digunakan mm.                                      |
| $\Delta q_{YZ}$        | Vektor koreksi translasi pada sumbu Y dan Z (mm).                                                                                                                                   |
| $J_Y, J_Z$             | Kolom Jacobian yang menyatakan perubahan fitur citra akibat gerak pada sumbu Y dan Z (piksel/mm).                                                                                   |
| $J_{:,j}$              | Kolom ke-j matriks Jacobian, yang diperoleh dari respons fitur terhadap gerak kecil pada arah ke-j.                                                                                 |

| Simbol                         | Keterangan                                                                                                                                           |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_{max}, \sigma_{min}$   | Nilai singular terbesar dan terkecil matriks Jacobian.                                                                                               |
| $\kappa$                       | Bilangan kondisi matriks Jacobian; tidak berdimensi.                                                                                                 |
| $\varepsilon_u, \varepsilon_v$ | Batas toleransi <i>error</i> horizontal dan vertikal untuk menyatakan penyelarasan tercapai (piksel).                                                |
| $\lambda_{min}, \lambda_{max}$ | Batas minimum dan maksimum faktor pengali koreksi kendali.                                                                                           |
| $e_g$                          | Skala besar <i>error</i> untuk mengatur transisi faktor pengali kendali (piksel).                                                                    |
| $\Delta q_i, \Delta q_i^{cmd}$ | Koreksi pada komponen ke-i sebelum dan setelah pembatasan langkah (mm untuk translasi Kartesian).                                                    |
| $\Delta q_{i,max}$             | Batas magnitudo koreksi pada komponen gerak ke-i (mm untuk translasi Kartesian).                                                                     |
| $A_0, A_1, A_2$                | Luas <i>mask</i> pada kondisi acuan awal serta pada pengamatan pertama dan kedua (piksel <sup>2</sup> ).                                             |
| $Z, Z_1, Z_2$                  | Jarak atau kedalaman target terhadap kamera pada model proyeksi, termasuk sebelum dan sesudah gerak kamera (mm). Berbeda konteks dari sumbu Z robot. |
| $r_A$                          | Rasio skala linear proyeksi, yaitu akar dari $A_2/A_1$ ; tidak berdimensi. Berbeda dari rasio luas $A_2/A_1$ .                                       |
| $A/A_0$                        | Luas <i>mask</i> yang dinormalisasi terhadap luas awal target; tidak berdimensi.                                                                     |
| $P(R)$                         | Presisi sebagai fungsi <i>recall</i> pada perhitungan luas di bawah kurva evaluasi.                                                                  |
| $AP_i$                         | Nilai presisi rata-rata pada kelas ke-i; digunakan untuk menghitung mAP.                                                                             |
| $\eta$                         | Efisiensi konversi daya; ditampilkan sebagai persentase (%).                                                                                         |
| $V_{in}, V_{out}$              | Tegangan listrik pada sisi masukan dan keluaran konverter (V).                                                                                       |
| $I_{in}, I_{out}$              | Arus listrik pada sisi masukan dan keluaran konverter (A).                                                                                           |
| $P_{in}, P_{out}$              | Daya listrik pada sisi masukan dan keluaran konverter (W).                                                                                           |
| $P, E, t$                      | Daya total, energi, dan lama operasi pada perhitungan catu daya; satuan yang digunakan berturut-turut W, Wh, dan jam.                                |
| $Ah$                           | Notasi kapasitas baterai yang dipakai pada persamaan draf; nilainya dinyatakan dalam ampere-jam (Ah).                                                |
| $Ah_{efisiensi}, Ah_{real}$    | Kapasitas baterai setelah memperhitungkan efisiensi dan setelah penambahan margin pengaman (Ah).                                                     |
| $I, I_n$                       | Nilai piksel asli dan nilai piksel setelah normalisasi; berbeda konteks dari arus listrik masukan dan keluaran.                                      |

| Simbol                                 | Keterangan                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $e_{awal}, e_{akhir}$                  | Besar <i>error</i> visual pada awal pengujian dan pada kondisi akhir yang dievaluasi (piksel).                                                                |
| $K_e$                                  | Persentase pengurangan <i>error</i> terhadap <i>error</i> awal (%).                                                                                           |
| $t_{READY}$                            | Durasi sejak awal pengendalian hingga tercapai kondisi siap petik (s).                                                                                        |
| $X, Y, Z$                              | Koordinat posisi atau sumbu gerak Kartesian robot pada kerangka acuan yang digunakan (mm).                                                                    |
| $\partial, \Delta, \Sigma, \cap, \cup$ | Operator turunan parsial, perubahan besaran, penjumlahan, irisan, dan gabungan himpunan.                                                                      |
| $\pm$                                  | Tanda positif/negatif untuk toleransi; pada pelaporan statistik pengujian menyatakan rentang di sekitar rata-rata berupa simpangan baku sampel sesuai uraian. |
| $T, \dagger$                           | Superskrip T menyatakan operasi pertukaran baris dan kolom pada matriks/vektor; superskrip $\dagger$ menyatakan pseudoinvers Moore–Penrose.                   |

## INTISARI

### **RANCANG BANGUN SISTEM PERSEPSI BERBASIS YOLOV8N-SEG DAN IMAGE-BASED VISUAL SERVOING PADA CHIMI-BOT (ROBOT ARM MOBILE CHILLI PICKER) MENGGUNAKAN NVIDIA JETSON NANO**

Kezia Huminsa Ulina

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Robot pemetik cabai memerlukan sistem persepsi yang mampu mengenali tingkat kematangan dan memberikan umpan balik untuk mengarahkan manipulator menuju target. Penelitian ini merancang sistem persepsi berbasis YOLOv8n-Seg dan *uncalibrated image-based visual servoing* berbasis Jacobian empiris pada CHIMI-BOT. Kamera RGB dipasang secara *eye-in-hand*, sedangkan pemrosesan dilakukan pada NVIDIA Jetson Orin Nano menggunakan TensorRT FP16. Hasil segmentasi digunakan untuk menentukan *cut-point* melalui *Principal Component Analysis* (PCA), sementara luas *mask* digunakan sebagai informasi pendukung pendekatan. *Error cut-point* terhadap posisi acuan digunakan untuk menghasilkan koreksi Kartesian yang dikirimkan melalui UART ke STM32. Evaluasi pada 535 citra uji dengan 952 anotasi menunjukkan *mask* mAP@50 sebesar 85,91% dan *mean IoU* 92,32%. TensorRT FP16 menghasilkan waktu inferensi median 8,7 ms, dengan laju kamera 28,4 FPS dan pemrosesan visi terintegrasi 20,1 FPS. Pada lima pengulangan, *error* visual berkurang dari 196,95 menjadi 13,03 piksel atau 93,32%, dengan waktu menuju kondisi siap petik 50,89 detik. Pengujian tiga percobaan multi-cabai menghasilkan keberhasilan pemetikan fisik sebesar 77,78% atau tujuh dari sembilan target.

**Kata kunci:** YOLOv8n-Seg, TensorRT, *image-based Visual Servoing*, *empirical image Jacobian*, *eye-in-hand*, NVIDIA Jetson Orin Nano, robot manipulator 5-DOF.

## ABSTRACT

### DESIGN AND DEVELOPMENT OF A YOLOV8N-SEG-BASED PERCEPTION SYSTEM AND IMAGE-BASED VISUAL SERVOING FOR CHIMI-BOT (ROBOT ARM MOBILE CHILLI PICKER) USING NVIDIA JETSON ORIN NANO

Kezia Huminsa Ulina

Automation Engineering Technology, Vocational School, Diponegoro University

A chili-picking robot requires a perception system capable of recognizing fruit maturity and providing visual feedback to guide the manipulator toward the target. This study develops a YOLOv8n-Seg-based perception system integrated with *uncalibrated image-based visual servoing* using an empirical Jacobian for CHIMI-BOT. An RGB camera was mounted in an *eye-in-hand* configuration, while image processing was performed on an NVIDIA Jetson Orin Nano using TensorRT FP16. Segmentation results were used to determine the *cut-point* through Principal Component Analysis (PCA), while the *mask* area supported the approach process. The *cut-point* error relative to the desired position was converted into Cartesian corrections and transmitted to an STM32 through UART. Evaluation on 535 test images containing 952 annotated objects achieved a *mask* mAP@50 of 85.91% and a mean IoU of 92.32%. TensorRT FP16 achieved a median inference time of 8.7 ms, with a camera acquisition rate of 28.4 FPS and an integrated vision processing rate of 20.1 FPS. In five repeated trials, the average visual error decreased from 196.95 to 13.03 pixels, corresponding to a 93.32% reduction, with an average ready-to-pick time of 50.89 s. Three multi-chili trials achieved a physical picking success rate of 77.78%, corresponding to seven successful picks out of nine targets.

**Keywords:** YOLOv8n-Seg, TensorRT, image-based *Visual Servoing*, *empirical image Jacobian*, *eye-in-hand*, NVIDIA Jetson Orin Nano, 5-DOF robotic manipulator.