PERANCANGAN DAN EVALUASI SISTEM PERCEPTION VISUAL DAN DOCKING PALLET PADA AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Oleh:

Ikbal Ahnaf Khairullah

40040322650008

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI

DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2026

Dipindai dengan CamScanner

LAPORAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN EVALUASI SISTEM PERCEPTION VISUAL DAN DOCKING PALLET PADA AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

Diajukan oleh:

Ikbal Ahnaf Khairullah

40040322650008

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Menyetujui

Dosen Pembimbing

Rolla Canvo Prayogo, S.T., M.T. Semarang, 25 September 2026

NIP 199505292024061001

Mengetahui

Ketua

Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro

Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng Semarang, 25 September 2026

NIP. 197009161998021001

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN EVALUASI SISTEM PERCEPTION VISUAL BERBASIS YOLOV8 UNTUK ALIGNMENT DAN DOCKING PALLET PADA AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV) FORKLIFT

Disusun oleh:
Ikbal Ahnaf Khairullah
40040322650008

Telah diajukan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada tanggal 25 September 2026
Tim Penguji,
Pembimbing,

Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.
NIP. 199505292024061001

Penguji 1

Privo Sasmoko, S.T.,M.Eng
NIP. 197009161998021001

Penguji 2

Ari Bawono Putranto, S.Si., M.Si.
NIP. 198501252019031007

Mengetahui,
Ketua Program Studi S.Tr. Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Privo Sasmoko, S.T.,M.Eng
NIP. 197009161998021001

Dipindai dengan CamScanner

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Ikbal Ahnaf Khairullah
NIM	:	40040322650008
Program Studi	:	Teknologi Rekayasa Otomasi
Judul Tugas Akhir	:	Perancangan dan Evaluasi Sistem Perception Visual Berbasis YOLOv8 untuk Alignment dan Docking Pallet pada Automated Guided Vehicle (AGV) Forklift

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 ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk 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
Yang membuat pernyataan,

Ikbal Ahnaf Khairullah
NIM. 40040322650008

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Perancangan dan Evaluasi Sistem Perception Visual Berbasis YOLOv8 untuk Alignment dan Docking Pallet pada Automated Guided Vehicle (AGV) Forklift" dengan baik.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Dalam proses perancangan, pengujian, hingga penyusunan laporan, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dukungan, serta masukan dari berbagai pihak.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kemudahan selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Orang tua yang tercinta bapak Heru Chaerul Brawijaya dan ibu Herna Puspasari yang selalu mendukung saya disegala keadaan dan kendala yang saya alami selama berkuliah, yang selalu mendukung saya, yang senantiasa memberikan doa, motivasi, serta semangat selama proses perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir. Terimakasih penulis ucapkan atas didikan dan kesabaran kalian menunggu penulis untuk mengejar cita cita nya
3. Saudara saya yang selalu ada di samping saya selaku garda tambahan yang selalu mendukung saya di segala kondisi, Kak Niken Ayu Puspawijaya yang selalu mengorbankan waktunya untuk membantu keluarga dan saya, yang rela membanting tulang demi bisa saya menlanjutkan kuliah saya, yang selalu tersenyum ketika rela mengorbankan jalan yang diambil dan lebih memprioritaskan kondisi ekonomi keluarga, dan adik saya yang selalu saya banggakan Rifki Fairuz Khairullah yang masih semangat dalam mengejar cita cita dengan semangat menitih jalan di basket yang mendukung dari sisi

prestasi dan membuat penulis tidak ingin kalah untuk membuat keluarga ini bangga sebangganya.

4. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
5. Bapak Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, serta evaluasi selama proses perancangan dan penyusunan Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan bantuan selama masa perkuliahan.
7. Teruntuk orang yang selalu nemenin saya dari maba hingga di titik saya bisa sampai disini saya ingin memberikan ucapan terimakasih atas bantuannya dalam mewarnai hari hari penulis alaupun banyak kendala dalam proses nya tetapi tetap menjadi semangat penulis dalam berproses.
8. Teman-teman ODGJ.T, yang telah membersamai penulis sejak awal perkuliahan hingga saat ini dan menjadi bagian dari berbagai pengalaman serta cerita selama menjalani masa perkuliahan. Semoga setiap langkah yang ditempuh setelah menyelesaikan pendidikan dapat membawa kita menuju jalan masing-masing tanpa menghilangkan persahabatan dan kebersamaan yang telah terjalin
9. Teman-teman metalians, yang selalu membuat kehidupan penulis berwarna dengan gelak tawa, yang selalu menemani dari awal maba hingga sekarang yang terus memberikan saran dan bahkan bahan diskusi yang menarik yang membuat penulis jadi termotivasi dalam pembentukan pola pikir hingga problem solving dalam dunia nyata.
10. Rekan-rekan yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta masukan selama proses perancangan, pengujian, dan penyelesaian Tugas Akhir.

11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan, baik dalam proses penelitian maupun dalam penyusunan laporan. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun sebagai bahan evaluasi dan pengembangan di masa yang akan datang.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem perception visual, object detection, alignment, dan docking pallet pada Automated Guided Vehicle (AGV) forklift, khususnya pada penerapan sistem otomasi dan robotika.

Semarang, 25 September 2026

Penulis



Ikbal Ahnaf Khairullah

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR ..... **ii**
ABSTRAK ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xiv**
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL ..... **xv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 2
1.3. Tujuan Tugas Akhir 3
1.4. Manfaat Tugas Akhir 3
1.5. Pembatasan Masalah 4
1.6. Sistematika Tugas Akhir 5
BAB II DASAR TEORI **7**
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.2 Autonomous Guided Vehicle (AGV) Forklift 8
2.3 Jetson Orin Nano 10
2.4 Orbbec Astra Pro 13
2.5 Object Detection 15
2.6 YOLOv8 (*You Only Look Once Version 8*) 16
2.6.1 Kelas Objek pada Model YOLOv8 17
2.6.2 Proses Training YOLOv8 19
2.6.3 Intersection Over Union (IoU) 21
2.7 *Confusion Matrix* 23
2.8 Deteksi Pallet 27
2.8.1 Struktur pallet sebagai fitur visual 28
2.8.2 Deteksi Komponen Pallet pada Sistem Perception 30
2.9 Titik Referensi *Pallet* 31
2.9.1 Orientasi Visual *Pallet* 35
2.10 *Error Lateral Visual* dan *Error Yaw* 37
2.10.1 *Error Lateral Visual* 38
2.10.2 Error Yaw Visual 40
2.10.3 Error forward 41
2.11 Kontrol Proporsional *Docking* 44

2.11.1 *Gain* Proporsional 47
2.11.2 Saturasi dan *Deadband* 49
2.11.3 Parameter Respons Sistem 50
2.12 Filtering dan Validasi Temporal 51
2.12.1 Exponential Moving Average 52
2.12.2 Penolakan Outlier 54
2.13 Kriteria *Alignment* dan *Docking* 56
2.14 Robot Operating System 2 (ROS 2) 60
2.14.1 Message Hasil Deteksi dan Alignment 62
2.14.2 Hubungan Publisher dan Subscriber 63
BAB III METODE PENELITIAN 65
3.1 Tahapan Penelitian 65
3.2 Diagram blok komponen penyusun alat 69
3.2.1 Diagram Blok Sistem Keseluruhan 70
3.2.2 Gambar 3D Alat 74
3.3 . Spesifikasi dan Fitur Alat 75
3.4 Teknik Fabrikasi 77
3.5.1 Flowchart keseluruhan 77
3.5.2 Flowchart sistem 78
3.5 Pembuatan Desain PCB 80
3.6 Pembuatan Rangkaian Elektrik 82
3.7 Perangkat Lunak dan Integrasi ROS 2 84
3.8.1 Akuisisi citra RGB 84
3.8.2 Implementasi YOLOv8 85
3.8.3 Pengolahan Alignment Pallet 87
3.8.4 Custom Message ROS 2 88
3.8.5 Hubungan Publisher dan Subscriber 89
3.8.6 Integrasi Keluaran Perception dengan Sistem Kontrol 91
3.8 Perancangan dan Pelatihan dan Integrasi ROS 2 91
3.9.1 Akuisisi Dataset 93
3.9 Implementasi Model YOLOv8 pada Sistem *Perception* 102
3.10.1. Akuisisi Citra RGB 103
3.10.2. Proses Inferensi YOLOv8 103
3.10.3. Confidence Filtering dan non maximum Suppression 104
3.10.4. Kelas Objek pada Implementasi Model 104
3.10.5. Pembentukan dan Publikasi Hasil Deteksi 105

3.10 Konfigurasi Alignment dan Rancangan Pengujian Sistem 108
3.11.1. Kalibrasi Expected Block Center dan Referensi Visual.....110
3.11.2. Kalibrasi error lateral Metrik 111
3.11.3. Kalibrasi Error Forward 112
3.11.4. Konfigurasi Filtering dan Penolakan Outlier 115
3.11.5. Kriteria Kestabilan dan Status Alignment.....116
3.11.6. Penanganan Kondisi Data Tidak Valid.....117
3.11.7. Rancangan Pengujian Sistem 118
3.11.8. Pencatatan Data Pengujian..... 120
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 123
4.1 Pengujian dan Analisis..... 123
4.1.1. Dataset YOLOv8..... 123
4.1.2. Hasil Implementasi Sistem..... 123
4.1.3. Implementasi AGV dan Kamera RGB..... 124
4.1.4. Implementasi Posisi Visual dan Error..... 125
4.1.5. Implementasi Kontrol dan ROS 2..... 126
4.1.6. Hasil Training Model YOLOv8 127
4.2 Pengujian Deteksi Halangan 128
4.2.1 Pengujian Variasi Jarak Halangan..... 129
4.2.2 Pengujian Variasi Posisi Halangan..... 131
4.2.3 Pengujian Variasi Pencahayaan Halangan 133
4.3 Pengujian Deteksi Pallet 135
4.3.1 Pengujian Variasi Jarak Pallet 136
4.3.2 Pengujian Variasi Orientasi Pallet..... 139
4.3.3 Pengujian Variasi Pencahayaan Pallet..... 141
4.4 Pengujian Akurasi Error Visual..... 143
4.4.1. Pengujian Akurasi Error Yaw..... 144
4.4.2. Pengujian Error Lateral Visual..... 147
4.4.3. Pengujian Error Forward..... 150
4.5 Pengujian Respons Sistem Kendali Docking..... 153
4.5.1. Pengujian Respons Sistem pada Proses Alignment dan Docking... 153
4.6. Analisis Hasil Pengujian 155
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 158
5.1 Kesimpulan 158
5.2 Saran..... 159
DAFTAR PUSTAKA..... 160

Lampiran 164

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka 7

Tabel 2.2 Spesifikasi NVIDIA Jetson Orin Nano 11

Tabel 2.3 Spesifikasi Orbbec Astra Pro.....13

Tabel 2.4 Kelas Objek pada Model YOLOv8 17

Tabel 2.5 Struktur Confusion Matrix 23

Tabel 2.6 Representasi Struktur Pallet sebagai Fitur Visual 29

Tabel 2.7 Hubungan Publisher dan Subscriber pada Sistem Perception.....62

Tabel 3.1 Alat dan Bahan 75

Tabel 3.2 Parameter Inferensi YOLOv8.....85

Tabel 3.3 Hubungan Publisher dan Subscriber pada Sistem Perception.....88

Tabel 3.4 Komposisi Citra Sumber Dataset 94

Tabel 3.5 Parameter Akuisisi Dataset.....95

Tabel 3.6 Kelas dan Objek Anotasi Dataset 96

Tabel 3.7 Pembagian Dataset 98

Tabel 3.8 Konfigurasi Training YOLOv8 100

Tabel 3.9 Kelas Objek pada Implementasi YOLOv8.....105

Tabel 3.10 Parameter Implementasi Deteksi YOLOv8.....107

Tabel 3.11 Parameter Validasi Pasangan Hole Pallet.....108

Tabel 3.12 Parameter Validasi Block Pallet 109

Tabel 3.13 Parameter Kalibrasi Error Forward 114

Tabel 3.14 Parameter Filtering dan Penolakan Outlier 115

Tabel 3.15 Parameter Toleransi dan Kestabilan Alignment 116

Tabel 3.16 Status Alignment pada Sistem Perception.....117

Tabel 3.17 Rancangan Pengujian Sistem Alignment 119

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Variasi Jarak Halangan.....130

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Variasi Posisi Halangan.....132

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Variasi Pencahayaan Halangan 135

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Variasi Jarak Pallet.....137

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Variasi Orientasi Pallet.....140

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Variasi Pencahayaan Pallet 141

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Akurasi Error Yaw.....145

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Error Lateral Visual.....148

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kondisi Error Forward.....151

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Respons Sistem pada Proses Docking.....154

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 AGV Forklift 9

Gambar 2.2 NVIDIA Jetson Orin Nano 11

Gambar 2.3 Orbbec Astra Pro 13

Gambar 2.4 Arsitektur Konseptual YOLOv8 untuk Deteksi Pallet dan Halangan 18

Gambar 2.5 Proses Training YOLOv8 20

Gambar 2.6 Ilustrasi Intersection over Union (IoU) 22

Gambar 2.7 Pembentukan Error Lateral Visual dan Error Yaw 37

Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian 68

Gambar 3.2 Tampilan Navigation Map pada Sistem AGV 70

Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem Keseluruhan AGV 72

Gambar 3.4 Konsep 3D AGV Forklift 74

Gambar 3.5 Flowchart Sistem Keseluruhan 77

Gambar 3.6 Flowchart Sistem Image Processing 78

Gambar 3.7 Desain PCB AGV 80

Gambar 3.8 Rangkaian Elektrik AGV Forklift 82

Gambar 3.9 Alur Data Perception pada ROS 2 90

Gambar 4.1 Tampilan Deteksi pada Pengujian Variasi Jarak Halangan 130

Gambar 4.2 Grafik Confidence Hasil Pengujian Variasi Jarak Halangan 131

Gambar 4.3 Tampilan Deteksi pada Pengujian Variasi Posisi Halangan 132

Gambar 4.4 Grafik Confidence Hasil Pengujian Variasi Posisi Halangan 133

Gambar 4.5 Tampilan Deteksi pada Pengujian Variasi Pencahayaan Halangan ..134

Gambar 4.6 Grafik Confidence Hasil Pengujian Variasi Pencahayaan Halangan
.....135

Gambar 4.7 Tampilan Deteksi pada Pengujian Variasi Jarak Pallet.....137
Gambar 4.8 Grafik Confidence Hasil Pengujian Variasi Jarak Pallet.....138
Gambar 4.9 Tampilan Deteksi pada Pengujian Variasi Orientasi Pallet 139
Gambar 4.10 Grafik Confidence Hasil Pengujian Variasi Orientasi Pallet.....141
Gambar 4.11 Tampilan Deteksi pada Pengujian Variasi Pencahayaan Pallet 142
Gambar 4.12 Grafik Confidence Hasil Pengujian Variasi Pencahayaan Pallet....143
Gambar 4.13 Tampilan Antarmuka Pengujian Akurasi Error Yaw 145
Gambar 4.14 Tampilan Antarmuka Pengujian Error Lateral Visual 147
Gambar 4.15 Hubungan Offset Lateral Aktual terhadap Error Pixel.....149
Gambar 4.16 Hubungan Offset Lateral Aktual terhadap Error Ternormalisasi ...149
Gambar 4.17 Grafik Data Error Lateral Visual selama Pengujian.....150
Gambar 4.18 Tampilan Antarmuka Pengujian Error Forward.....151
Gambar 4.19 Grafik Data Error Forward selama Pengujian.....152
Gambar 4.20 Tampilan Antarmuka Pengujian Respons Sistem Docking.....154

ABSTRAK

Perancangan dan Evaluasi Sistem Perception Visual Berbasis YOLOv8 untuk Alignment dan Docking Pallet pada Automated Guided Vehicle (AGV) Forklift

Ikbal Ahnaf Khairullah

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Automated Guided Vehicle (AGV) forklift membutuhkan sistem persepsi visual yang mampu mengenali pallet dan menghasilkan informasi penyelarasan secara stabil sebelum proses docking. Penelitian ini merancang dan mengevaluasi sistem perception visual berbasis YOLOv8 menggunakan kamera RGB Orbbec Astra Pro dan NVIDIA Jetson Orin Nano. Model YOLOv8 digunakan untuk mengenali lima kelas, yaitu floor marking, block, front, hole pallet, dan pallet. Keluaran deteksi berupa kelas objek, confidence, dan bounding box diintegrasikan melalui ROS 2. Pada tahap alignment, pasangan hole pallet digunakan untuk membentuk titik tengah dan orientasi visual, sedangkan deteksi block digunakan untuk memvalidasi geometri dan menentukan expected block center. Informasi tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung error lateral, error yaw, dan error forward. Untuk mengurangi fluktuasi hasil pengukuran, sistem menerapkan Exponential Moving Average, penolakan outlier, dan validasi temporal sebelum status alignment diterbitkan dan digunakan sebagai masukan kontrol proporsional. Evaluasi dilakukan melalui pengujian deteksi pada variasi jarak, posisi, orientasi, dan pencahayaan serta pengujian parameter error visual. Hasil pengujian deteksi halangan pada jarak 1,2-3,0 m menghasilkan detection rate 100% dengan confidence rata-rata 0,7072-0,8215. Pada variasi posisi kiri, tengah, dan kanan, detection rate juga mencapai 100% dengan confidence rata-rata 0,7098-0,8155.

Kata kunci: AGV forklift, YOLOv8, perception visual, alignment pallet, docking, ROS 2.

ABSTRACT

Design and Evaluation of a YOLOv8-Based Visual Perception System for Pallet Alignment and Docking on an Automated Guided Vehicle (AGV) Forklift

Ikbal Ahnaf Khairullah

Automation Engineering Technology Study Program, Vocational School,

Diponegoro University

An Automated Guided Vehicle (AGV) forklift requires a visual perception system that can recognize pallets and provide stable alignment information before docking. This study designs and evaluates a YOLOv8-based visual perception system using an Orbbec Astra Pro RGB camera and an NVIDIA Jetson Orin Nano. YOLOv8 is used to recognize five classes: floor marking, block, front, hole pallet, and pallet. Detection outputs consisting of object class, confidence, and bounding box information are integrated through ROS 2. During alignment, a pair of pallet holes is used to determine the midpoint and visual orientation, while block detection is used to validate the pallet geometry and determine the expected block center. This information is then processed to obtain lateral, yaw, and forward errors. To reduce measurement fluctuations, the system applies an Exponential Moving Average, outlier rejection, and temporal validation before publishing the alignment status and using the resulting errors as inputs to a proportional controller. Evaluation is conducted through detection tests with variations in distance, position, orientation, and lighting, together with visual-error tests. Obstacle detection tests at distances of 1.2-3.0 m produced a 100% detection rate with average confidence values of 0.7072-0.8215. Tests at left, center, and right positions also achieved a 100% detection rate, with average confidence values of 0.7098-0.8155. Pallet tests over the distance and orientation variations reported in this study showed that the target remained detectable under all tested conditions.

Keywords: AGV forklift, YOLOv8, visual perception, pallet alignment, docking, ROS 2.

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

Singkatan	Kepanjangan
AGV	Automated Guided Vehicle
AI	Artificial Intelligence
AP	Average Precision
CPU	Central Processing Unit
CUDA	Compute Unified Device Architecture
CSV	Comma-Separated Values
DFL	Distribution Focal Loss
DWA	Dynamic Window Approach
EMA	Exponential Moving Average
FN	False Negative
FP	False Positive
FPS	Frames per Second
GPU	Graphics Processing Unit
IBVS	Image-Based Visual Servoing
IMU	Inertial Measurement Unit
IoU	Intersection over Union
LiDAR	Light Detection and Ranging
mAP	mean Average Precision
NMS	Non-Maximum Suppression
PCB	Printed Circuit Board
RGB	Red, Green, Blue
RGB-D	Red, Green, Blue–Depth
ROI	Region of Interest
ROS 2	Robot Operating System 2
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
TN	True Negative
TOPS	Tera Operations Per Second
TP	True Positive
V4L2	Video4Linux2
YAML	YAML Ain’t Markup Language
YOLO	You Only Look Once
YOLOv8	You Only Look Once version 8

B. Simbol

Simbol	Definsi
B_{pred}	bounding box hasil prediksi
$B_{\square}$	bounding box ground truth
P	precision
R	recall
F_1	F1-Score
AP_i	Average Precision untuk kelas ke-i
N	jumlah kelas atau jumlah data sesuai konteks persamaan
DR	detection rate
N_{det}	jumlah pengamatan dengan deteksi valid
N_{total}	jumlah seluruh pengamatan atau percobaan
$\acute{C}$	confidence rata-rata
C_i	nilai confidence pada pengamatan ke-i
H_L, H_R	titik pusat hole pallet kiri dan kanan
M	midpoint pasangan hole pallet
h	vektor arah antar-hole
$\hat{h}$	vektor satuan arah antar-hole
n	vektor normal terhadap garis antar-hole
B_{exp}	expected block center
$d_{\parallel}$	offset sepanjang arah normal
$d_{\perp}$	offset sepanjang arah antar-hole
θ_h	orientasi visual garis antar-hole
θ_{ref}	orientasi atau yaw referensi
e_{yaw}	error yaw visual
$e_{lat,px}$	error lateral dalam satuan piksel
$e_{lat,m}$	error lateral dalam satuan meter
$k_{m/px}$	faktor konversi meter per piksel
u_{lat}	koreksi kendali akibat error lateral
u_{yaw}	koreksi kendali akibat error yaw
u_{corr}	koreksi kendali total
K_{lat}, K_{yaw}	gain proporsional lateral dan yaw
SR	success rate
$N_{berhasil}$	jumlah percobaan yang berhasil
$\alpha_{lat}, \alpha_{yaw}$	faktor smoothing EMA untuk lateral dan yaw
$\Delta\theta_k$	perubahan yaw ternormalisasi pada frame ke-k
k	indeks frame atau waktu diskrit
C_{geom}	kondisi validitas geometri pallet
C_{HL}, C_{HR}, C_{pair}	validitas hole kiri, hole kanan, dan pasangan hole
$C_{block}, C_{block_{geom}}$	validitas deteksi block dan kesesuaian geometri block
C_{tol}	kondisi terpenuhinya toleransi error lateral dan yaw
N_{stable}	jumlah frame stabil berturut-turut
N_{req}	jumlah minimum frame stabil yang dipersyaratkan

C_{stable}	kondisi kestabilan temporal
C_{metric}	kondisi validitas kalibrasi metrik
$T_{lat,m}$	batas toleransi error lateral metrik
T_{yaw}	batas toleransi error yaw
C_{align}	kondisi alignment akhir
$\wedge$	operator logika AND