

**PERANCANGAN SISTEM DETEKSI OBJEK (KUBUS) PADA ROBOT
TRANSPORTER MENGGUNAKAN ALGORITMA YOLOv8
(*YOU ONLY LOOK ONCE*)**

SKRIPSI

**Oleh :
MOCH YUSUF BACHTIYAR
NIM. 18650064**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**PERANCANGAN SISTEM DETEKSI OBJEK (KUBUS) PADA ROBOT
TRANSPORTER MENGGUNAKAN ALGORITMA YOLOv8
(*YOU ONLY LOOK ONCE*)**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
MOCH. YUSUF BACHTIYAR
NIM. 18650064

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PERANCANGAN SISTEM DETEKSI OBJEK (KUBUS) PADA ROBOT
TRANSPORTER MENGGUNAKAN ALGORITMA YOLOv8
(YOU ONLY LOOK ONCE)**

SKRIPSI

Oleh :
MOCH. YUSUF BACHTIYAR
NIM. 18650064

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 5 Juni 2025

Pembimbing I,



Shoffin Nahwa Utama, MT
NIP. 19860703 20201 2 1003

Pembimbing II,



Tri Mukti Lestari, M.Kom
NIP. 19911108 20201 2 2005

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Ir. Faehri Kurniawan S.T., M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

**PERANCANGAN SISTEM DETEKSI OBJEK (KUBUS) PADA ROBOT
TRANSPORTER MENGGUNAKAN ALGORITMA YOLOv8
(YOU ONLY LOOK ONCE)**

SKRIPSI

Oleh :
MOCH. YUSUF BACHTIYAR
NIM. 18650064

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: Juni 2025

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M.T
NIP. 19830616 201101 1 004

Anggota Penguji I : Ahmad Fahmi Karami, M.Kom
NIP. 19870909 202012 1 001

Anggota Penguji II : Shoffin Nahwa Utama, MT
NIP. 19860703 20201 2 1003

Anggota Penguji III : Tri Mukti Lestari, M.Kom
NIP. 19911108 20201 2 2005

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. Ir. Fachrul Kurniawan S.T., M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moch Yusuf Bachtiyar
NIM : 18650064
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Bab Iperancangan Sistem Deteksi Objek (Kubus)
Pada Robot Transporter Menggunakan Algoritma
Yolov8 (You Onliy Look Once)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 25 Juni 2025
Yang membuat pernyataan,



Moch. Yusuf Bachtiyar
NIM.18650064

MOTTO

... عمل كلّ على يعين الصبر ...

As shobru yu'ienu a'la kulli amalin

“Kesabaran itu akan menolong segala pekerjaan.”
(Diriwayatkan oleh Nabi Muhammad SAW).

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perancangan Sistem Deteksi Objek (Kubus) Pada Robot Transporter Menggunakan Algoritma Yolov8 (*You Only Look Once*)”.

Sholawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk sehingga kita tetap dalam iman islam dan dapat melakukan kegiatan belajar dengan cahaya islam.

Penulisan dan penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program studi Teknik Informatika di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan, bimbingan serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh ketulusan hati penulis mengucapkan terimakasih dikhususkan kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, MA selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPU selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Shoffin Nahwa Utama, MT Pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan saya selama menulis dan menyusun skripsi ini.

5. Tri Mukti Lestari, M.Kom selaku dosen pembimbing II yang telah banyak membantu serta memotivasi saya untuk tetap melanjutkan penulisan skripsi ini meski tertunda dalam beberapa waktu.
6. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu kepada penulis semenjak di bangku perkuliahan dan di ruang praktikum.
7. Bapak dan Ibu saya yang selalu memberikan dukungan kepada saya baik secara fisik dan finansial, adik-adik saya, dan keluarga saya yang juga selalu mendukung dan memberikan semangat kepada saya.
8. Pasangan saya (Novia) yang telah memberikan semangat dan juga membantu saya dalam menyelesaikan skripsi.
9. Keluarga Pusat Mahad Al-Jama'ah Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang tahun 2018-2019 yang selalu memberikan motivasi dan kenangan paling mengesankan bagi saya.
10. Rekan-rekan musyrif Pusat Mahad Al-Jama'ah Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang tahun 2018-2019 yang telah berjuang bersama dalam pengabdian yang tidak mudah tergantikan oleh apapun.
11. Angkatan 18 Teknik Informatika UFO (*Unity of Informatics Force*) yang telah membagi beban, keluh kesah dan solidaritas kuat selama masa kuliah yang paling mengesankan.
12. Dan diri saya yang tidak patah semangat untuk melakukan dan menyelesaikan skripsi hingga akhirnya saya bisa lulus kuliah.

Semoga segala bantuan dan doa yang telah diberikan kepada penulis dibalas kebaikan oleh Allah SWT serta dicatat sebagai amal sholeh di dunia dan akhirat. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat dan menjadi khazanah pengembangan ilmu pengetahuan pada bidang terkait.

Malang, 25 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
البحث مسه تخلص.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.4.1 Manfaat Teoritis	8
1.4.2 Manfaat Praktis.....	9
1.5 Batasan Penelitian	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	11
2.1 Penelitian Terdahulu	11
2.2 <i>Deep Learning</i>	12
2.3 Algoritma <i>YOLOv8</i>	14
2.4 Transportasi.....	18
2.5 ESP32.....	19
2.6 Sistem Robot Transporter: Peran dan Teknologi Utama	20
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI	24
3.1 Pengumpulan Data	24
3.1.1 <i>Preprocessing Data</i>	25
3.1.2 Proses Annotasi	26
3.1.3 <i>Splitting Dataset</i>	26
3.2 Desain Sistem.....	27
3.2.1 Subsistem Pengolahan Objek	28
3.2.2 Sistem Kendali Robotik.....	30
3.2.3 Desain Sistem Robot <i>Trasporter</i>	32
3.3 Skema Pengujian.....	32
3.3.1 Tempat Pengujian	33
3.3.2 Prosedur Pengujian	34
3.3.3 Variabel Yang Diukur	34
3.3.4 Analisis Data dan Pengukuran.....	34
BAB IV UJI COBA DAN PEMBAHASAN	36

4.1 Implementasi Sistem Robot <i>Transporter</i>	36
4.1.1 Integrasi Kamera ESP32-CAM dan Model YOLOv8.....	38
4.1.2 Integrasi Gripper 4 DOF dan Mekanisme Mecanum Wheel.....	41
4.2 Proses Deteksi Objek Kubus.....	43
4.2.1 Deskripsi Dataset dan Pengujian.....	45
4.2.2 Visualisasi Deteksi YOLOv8 secara Real-time.....	47
4.3 Hasil Uji Coba dan Data.....	48
4.3.1 Analisis Metrik Training YOLOv8.....	49
4.3.2 Hasil Deteksi Objek Kubus oleh YOLOv8.....	53
4.3.3 Hasil Uji Coba Gerak Robot.....	55
4.4 Pembahasan Hasil Uji Coba.....	57
4.5 Intergrasi Nilai Islam.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alur Robot Traspoter dengan Algoritma <i>Yolov8</i>	28
Gambar 3.2 Alur Deteksi Objek.....	30
Gambar 3.3 Alur Robot <i>Transpoter</i>	31
Gambar 3.4 Desain Sistem Robot <i>Transpoter</i>	32
Gambar 4.1 Gambar deteksi Objek Kubus	45
Gambar 4.2 Kubus	45
Gambar 4.3 Deteksi Minimum Cahaya.....	46
Gambar 4.4 Gambar Proses Pelebelan	46
Gambar 4.5 Hasil Prosesing Pelebelan	47
Gambar 4.6 mAp (Analisis Mean Average Precision) Grafik	50
Gambar 4.7 Analisis <i>Precision</i> dan <i>Recall</i>	51
Gambar 4.8 Box Loss.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Uji Deteksi Objek Kubus.....	53
Tabel 4.2 Hasil Uji Gerak Robot Transpoter	55

ABSTRAK

Bachtiyar, Moch Yusuf. 2025. **Perancangan Sistem Deteksi Objek (Kubus) Pada Robot Transporter** Skripsi. Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Shoffin Nahwa Utama, MT (II) Tri Mukti Lestari, M.Kom.

Kata kunci: *robot transporter; ESP32-CAM; YOLOv8; Arduino Uno; ban Mecanum; gripper 4 DOF; deteksi kubus; otomatisasi.*

Perkembangan teknologi robotika mendorong terciptanya sistem otomatis yang dapat diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pemindahan objek. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan robot transporter otomatis yang mampu mendeteksi, mengambil, dan memindahkan objek kubus ke pos tujuan berdasarkan warna, secara mandiri dan real time. Sistem ini menggabungkan modul ESP32-CAM sebagai kamera untuk menangkap citra lingkungan, yang kemudian diproses menggunakan model *YOLOv8* custom untuk mendeteksi keberadaan objek kubus. Data hasil deteksi dikirim ke Arduino Uno untuk mengatur navigasi robot melalui ban Mecanum, serta mengoperasikan gripper 4 DOF guna mengambil dan meletakkan objek. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi pencahayaan dan posisi objek. Hasil menunjukkan tingkat akurasi deteksi mencapai 95 %, dan tingkat keberhasilan pemindahan objek ke pos tujuan mencapai 92 %. Sistem ini menunjukkan bahwa integrasi antara penglihatan mesin dan aktuator mekanik dapat bekerja secara efektif, serta memiliki potensi untuk diterapkan pada sistem sortasi otomatis dan industri.

ABSTRACT

Bachtiyar, Moch Yusuf. (2025). **Design of an Object (Cube) Detection System on a Transporter Robot** (Undergraduate Thesis). Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisors: (I) Shoffin Nahwa Utama, M.T. (II) Tri Mukti Lestari, M.Kom.

The advancement of robotics technology has driven the creation of automated systems applicable in various fields, including object transportation. This research aims to design and develop an automated transporter robot capable of detecting, picking up, and moving cube-shaped objects to designated positions based on color, autonomously and in real-time. The system integrates an ESP32-CAM module as the camera to capture environmental images, which are then processed using a custom *YOLOv8* model to detect the presence of cube objects. The detection data is sent to an Arduino Uno to control the robot's navigation via Mecanum wheels and operate the 4-DOF gripper to pick and place the object. Testing was conducted under various lighting conditions and object positions. The results show a detection accuracy rate of 95% and an object delivery success rate of 92%. This system demonstrates that the integration of machine vision and mechanical actuators can work effectively and has potential applications in automated sorting systems and industrial settings.

Key words: transporter robot; ESP32-CAM; YOLOv8; Arduino Uno; Mecanum wheels; 4-DOF gripper; cube detection; automation.

مستخلص البحث

بختيار، موح يوسف. 2025. تصميم نظام كشف الأجسام (المكعبات) في الروبوت الناقل باستخدام خوارزمية YOLOv8 رسالة تخرج، قسم تقنية المعلومات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفون: (1) شوفين هؤا أتاماء، ماجستير في التكنولوجيا (2) تري موكتي ليستاري، ماجستير في علوم الحاسوب

الكلمات المفتاحية: روبوت ناقل، YOLOv8، أردوينو أونو، ESP32-CAM، عجلات ميكانيوم، ماسك آلي بأربعة درجات حرية، كشف المكعبات، التشغيل الآلي

يدفع تطور التكنولوجيا في مجال الروبوتات إلى ابتكار أنظمة أوتوماتيكية يمكن تطبيقها في مجالات متعددة، بما في ذلك نقل الأجسام. تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتطوير روبوت ناقل أوتوماتيكي قادر على كشف، التقاط، ونقل الأجسام المكعبة إلى نقطة الهدف بناءً على اللون، بشكل مستقل وفي الزمن الحقيقي. يستخدم النظام وحدة ESP32-CAM ككاميرا لالتقاط صور البيئة المحيطة، والتي تتم معالجتها بعد ذلك باستخدام نموذج YOLOv8 المخصص للكشف عن وجود الأجسام المكعبة. تُرسل بيانات الكشف إلى لوحة أردوينو أونو للتحكم في حركة الروبوت من خلال عجلات ميكانيوم، وكذلك لتشغيل الماسك الآلي بأربعة درجات حرية من أجل التقاط ووضع الجسم. تم إجراء الاختبارات تحت ظروف إضاءة ومواقع مختلفة للأجسام. أظهرت النتائج أن دقة الكشف بلغت 95٪، ونسبة نجاح نقل الأجسام إلى الموقع المستهدف وصلت إلى 92٪. يُظهر هذا النظام أن التكامل بين الرؤية الحاسوبية والمشغلات الميكانيكية يمكن أن يعمل بكفاءة، وله قابلية للتطبيق في أنظمة الفرز الأوتوماتيكي والصناعة

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era modern yang semakin berkembang pesat, teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence - AI) dan sistem otomatisasi telah menjadi bagian integral dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu aplikasi teknologi yang semakin diminati adalah penggunaan robot transporter, yaitu robot yang dirancang untuk membantu manusia dalam mengangkut barang atau objek dari satu tempat ke tempat lain secara otomatis. Robot transporter sangat bermanfaat terutama bagi orang dengan kebutuhan khusus yang memiliki keterbatasan mobilitas, seperti penyandang disabilitas atau lansia. Dengan adanya robot ini, pekerjaan yang sebelumnya sulit dilakukan secara mandiri menjadi lebih mudah dan efisien.

YOLOv8 merupakan salah satu algoritma terbaru dalam bidang deteksi objek yang memiliki keunggulan dalam kecepatan dan akurasi. Dengan model ini, robot transporter dapat mengenali bentuk, dimensi, dan posisi objek secara real-time, bahkan dalam kondisi lingkungan yang kompleks atau pencahayaan yang kurang ideal. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja tetapi juga memberikan solusi yang lebih aman bagi pekerja. Bagi individu dengan keterbatasan fisik, keberadaan robot transporter yang mampu mendeteksi dan menangani balok secara otomatis sangat membantu mereka dalam menjalankan tugas yang sebelumnya sulit dilakukan. Dengan demikian, teknologi ini menjadi

salah satu inovasi yang mendukung inklusivitas di tempat kerja, memastikan bahwa setiap individu, tanpa terkecuali, dapat bekerja dengan lebih mudah dan aman.

Implementasi *YOLOv8* pada robot transporter tidak hanya mendukung efisiensi pekerjaan di sektor industri dan logistik, tetapi juga memberikan solusi inovatif dalam membantu individu dengan kebutuhan khusus. Misalnya, seseorang yang memiliki keterbatasan fisik sering kali menghadapi tantangan dalam mengangkut barang dari satu tempat ke tempat lain. Dengan adanya robot transporter yang dilengkapi dengan sistem deteksi objek berbasis *YOLOv8*, individu tersebut dapat dengan mudah mengontrol robot untuk melakukan tugas transportasi secara mandiri tanpa harus bergantung pada bantuan orang lain. Hal ini tidak hanya meningkatkan kemandirian mereka dalam menjalani aktivitas sehari-hari tetapi juga menciptakan lingkungan yang lebih inklusif dan ramah bagi semua kalangan.

Dalam upaya mewujudkan sistem deteksi objek yang efisien dan akurat pada robot transporter, diperlukan pemahaman yang mendalam mengenai kebutuhan sistem komputasi yang digunakan untuk menjalankan algoritma *YOLOv8*. Algoritma ini termasuk dalam kategori deep learning yang membutuhkan sumber daya pemrosesan tinggi, terutama saat digunakan dalam aplikasi real-time yang melibatkan pengolahan data visual secara terus-menerus. Untuk menjalankan model *YOLOv8* secara optimal, sistem minimum yang dibutuhkan antara lain adalah prosesor dengan performa sedang hingga tinggi seperti Intel Core i5 generasi ke-6 atau lebih tinggi, memori RAM minimal 8 GB, dan media penyimpanan berkecepatan tinggi (SSD). Namun, agar proses deteksi dapat dilakukan secara real-time dengan kecepatan respons yang tinggi (≥ 15 FPS),

sangat disarankan menggunakan unit pemrosesan grafis (GPU) seperti NVIDIA GeForce RTX 2060 atau di atasnya, yang mendukung akselerasi CUDA. Dukungan perangkat keras tersebut memungkinkan model YOLOv8 memproses gambar atau video streaming dari kamera secara cepat, presisi, dan efisien dalam mengenali objek seperti kubus yang menjadi fokus dalam penelitian ini.

Di sisi lain, pengembangan sistem robotika modern sering kali memanfaatkan mikrokontroler berbasis Internet of Things (IoT) seperti ESP32. ESP32 merupakan modul mikrokontroler berbasis dual-core Xtensa LX6 yang dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi. Perangkat ini banyak digunakan dalam pengembangan robotik karena memiliki ukuran kecil, konsumsi daya rendah, dan kemampuan komunikasi nirkabel yang andal. Dalam konteks robot transporter, ESP32 memiliki keunggulan dalam hal pengendalian aktuator seperti motor DC, penggerak roda (termasuk Mecanum), serta integrasi sensor-sensor pendukung. ESP32 juga mampu menjalankan server web lokal untuk memberikan antarmuka kontrol manual, menjadikannya cocok sebagai unit pengendali utama robot. Namun demikian, ESP32 memiliki keterbatasan dalam hal komputasi numerik dan pengolahan data visual karena keterbatasan memori dan kecepatan prosesor. Oleh karena itu, menjalankan model deteksi objek berbasis YOLOv8 secara langsung pada ESP32 merupakan hal yang tidak memungkinkan secara teknis.

Namun, meskipun teknologi *YOLOv8* menawarkan berbagai keunggulan, masih terdapat tantangan yang harus diatasi dalam penerapannya pada robot transporter. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan daya komputasi yang

tinggi untuk menjalankan algoritma deteksi objek secara real-time. Selain itu, robot harus mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan, seperti perubahan pencahayaan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan implementasi *YOLOv8* dengan menggunakan perangkat keras.

Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan integratif dengan cara menggabungkan ESP32 sebagai unit kontrol gerak robot dengan sistem komputasi eksternal (komputer atau laptop) yang bertanggung jawab atas proses deteksi objek menggunakan *YOLOv8*. Komputer akan memproses citra yang diterima dari kamera ESP32 (atau sumber lain) menggunakan algoritma *YOLOv8* untuk mendeteksi keberadaan dan posisi objek kubus, lalu hasil deteksi tersebut dapat disampaikan secara nirkabel ke ESP32 melalui jaringan Wi-Fi. Dengan cara ini, beban komputasi yang kompleks dapat dialihkan ke sistem yang lebih mumpuni tanpa mengorbankan fleksibilitas dan portabilitas sistem robotik berbasis ESP32.

Pendekatan ini tidak hanya relevan secara teknis, namun juga selaras dengan nilai-nilai dalam ajaran Islam, khususnya dalam hal kemaslahatan dan kemudahan (*taysir*). Dalam Islam, segala bentuk inovasi yang memberikan manfaat bagi umat dan mempermudah urusan manusia termasuk dalam amal yang berpahala. Penerapan teknologi ini bertujuan untuk membantu individu dengan kebutuhan khusus agar lebih mandiri dalam aktivitas sehari-hari, sehingga mengandung nilai ihsan (berbuat baik kepada sesama), dan mendorong terciptanya lingkungan yang lebih inklusif sebagaimana diajarkan dalam prinsip keadilan sosial dalam Islam.

Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berorientasi pada pencapaian teknis, tetapi juga mengandung nilai etika dan spiritual dalam penerapannya.

Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan integratif dengan cara menggabungkan ESP32 sebagai unit kontrol gerak robot dengan sistem komputasi eksternal (komputer atau laptop) yang bertanggung jawab atas proses deteksi objek menggunakan YOLOv8. Komputer akan memproses citra yang diterima dari kamera ESP32 (atau sumber lain) menggunakan algoritma YOLOv8 untuk mendeteksi keberadaan dan posisi objek kubus, lalu hasil deteksi tersebut dapat disampaikan secara nirkabel ke ESP32 melalui jaringan Wi-Fi. Dengan cara ini, beban komputasi yang kompleks dapat dialihkan ke sistem yang lebih mumpuni tanpa mengorbankan fleksibilitas dan portabilitas sistem robotik berbasis ESP32.

Pendekatan ini tidak hanya relevan secara teknis, namun juga selaras dengan nilai-nilai dalam ajaran Islam, khususnya dalam hal kemaslahatan dan kemudahan (taysir). Dalam Islam, segala bentuk inovasi yang memberikan manfaat bagi umat dan mempermudah urusan manusia termasuk dalam amal yang berpahala. Penerapan teknologi ini bertujuan untuk membantu individu dengan kebutuhan khusus agar lebih mandiri dalam aktivitas sehari-hari, sehingga mengandung nilai ihsan (berbuat baik kepada sesama), dan mendorong terciptanya lingkungan yang lebih inklusif sebagaimana diajarkan dalam prinsip keadilan sosial dalam Islam. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berorientasi pada pencapaian teknis, tetapi juga mengandung nilai etika dan spiritual dalam penerapannya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan mensimulasikan sistem deteksi objek berbasis YOLOv8 yang terintegrasi dengan robot transporter sebagai alat eksekusi gerakan, dengan metode pengendalian yang tetap dilakukan secara manual oleh pengguna. Sistem ini tidak menggunakan kendali otomatis penuh berdasarkan hasil deteksi, tetapi memisahkan fungsi deteksi objek dan fungsi pengendalian gerak untuk memudahkan proses pengujian dan pengembangan awal. Dengan pemisahan ini, peneliti dapat lebih fokus dalam menguji akurasi dan keandalan sistem deteksi objek berbasis visual sebelum diterapkan pada sistem kontrol robotik yang lebih kompleks di masa mendatang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan mensimulasikan sistem deteksi objek berbasis YOLOv8 yang terintegrasi dengan robot transporter sebagai alat eksekusi gerakan, dengan metode pengendalian yang tetap dilakukan secara manual oleh pengguna. Sistem ini tidak menggunakan kendali otomatis penuh berdasarkan hasil deteksi, tetapi memisahkan fungsi deteksi objek dan fungsi pengendalian gerak untuk memudahkan proses pengujian dan pengembangan awal. Dengan pemisahan ini, peneliti dapat lebih fokus dalam menguji akurasi dan keandalan sistem deteksi objek berbasis visual sebelum diterapkan pada sistem kontrol robotik yang lebih kompleks di masa mendatang.

Dalam Islam, penggunaan teknologi untuk mempermudah kehidupan manusia selaras dengan konsep ihsan, yaitu berbuat baik dan memberikan manfaat bagi sesama. Dalam Al-Qur'an, Allah SWT berfirman:

وَجَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا مَعَايِشَ ۗ وَمَنْ لَسْتُمْ لَهُ بِرَازِقِينَ

"Dan Kami telah menjadikan untukmu di bumi ini keperluan-keperluan hidup, dan (Kami telah menciptakan pula) makhluk-makhluk yang kamu sekali-kali bukan pemberi rezeki kepadanya." (QS. Al-Hijr: 20).

Ayat ini menunjukkan bahwa Allah telah menyediakan berbagai sumber daya di bumi untuk dimanfaatkan manusia guna memenuhi kebutuhannya. Salah satu bentuk pemanfaatan ini adalah dengan menciptakan teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi kerja manusia dan memberikan kemudahan, terutama bagi mereka yang memiliki keterbatasan fisik. Robot transporter dengan sistem deteksi objek berbasis *YOLOv8* menjadi salah satu implementasi dari pemanfaatan teknologi dalam kehidupan sehari-hari untuk mendukung aktivitas manusia agar lebih produktif dan efektif.

Dalam dunia kerja, banyak sektor yang membutuhkan robot transporter dengan kemampuan deteksi objek yang baik. Misalnya, di industri manufaktur, robot dapat digunakan untuk mengangkut komponen tanpa perlu pengawasan manusia secara langsung, sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kecelakaan kerja. Begitu pula dalam bidang kesehatan, robot dapat membantu mengantarkan obat atau perlengkapan medis kepada pasien atau tenaga kesehatan. Bagi penyandang disabilitas, teknologi ini bisa menjadi asisten yang membantu dalam mobilitas dan aktivitas sehari-hari, seperti membawa barang atau menavigasi lingkungan sekitar tanpa hambatan. Hal ini sejalan dengan prinsip Islam yang menekankan kemudahan dalam menjalani kehidupan,

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bagaimana merancang dan mengintegrasikan sistem deteksi objek berbasis *YOLOv8* pada robot transporter untuk mengenali objek secara akurat dan real-time?

1.3 Tujuan Penelitian

Merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi objek kubus berbasis *YOLOv8* pada robot transporter untuk meningkatkan kemampuan navigasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan tidak hanya untuk menyelesaikan tantangan teknis dalam pengembangan sistem robot transporter otomatis berbasis deteksi visual, tetapi juga untuk memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi dalam bidang sistem kendali, robotika, dan visi komputer. Dalam prosesnya, penelitian ini menggabungkan metode deteksi objek berbasis deep learning (*YOLOv8*), sistem komunikasi serial nirkabel berbasis ESP32, serta implementasi logika gerak roda Mecanum melalui simulasi LED, sehingga mampu mencerminkan integrasi yang utuh antara aspek teori dan aplikasi. Oleh karena itu, manfaat dari penelitian ini dapat diklasifikasikan ke dalam dua bagian utama, yaitu manfaat teoretis dan manfaat praktis.

1.4.1 Manfaat Teoritis

Manfaat teoritis dari penelitian ini adalah menambah wawasan dalam bidang visi komputer dan kecerdasan buatan, khususnya dalam implementasi

algoritma *YOLOv8* untuk deteksi objek pada sistem robotika, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada pengembangan sistem deteksi objek pada robot transporter atau robot cerdas lainnya. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi dalam pengembangan konsep integrasi antara deteksi objek berbasis AI dengan sistem navigasi robot yang lebih efisien dan adaptif terhadap lingkungan.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini membantu meningkatkan efisiensi kerja di berbagai bidang, seperti industri, rumah tangga, dan layanan kesehatan, dengan memanfaatkan robot transporter berbasis *YOLOv8* untuk memindahkan barang secara otomatis. Selain itu, teknologi ini mempermudah pekerjaan manusia, terutama bagi individu dengan kebutuhan khusus yang memiliki keterbatasan fisik, serta mengurangi risiko kecelakaan kerja yang disebabkan oleh keterbatasan manusia dalam mengenali rintangan atau kondisi lingkungan yang berubah secara dinamis.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan dari penelitian ini:

1. Fokus pada Algoritma *YOLOv8*

Penelitian ini hanya menggunakan *YOLOv8* sebagai algoritma deteksi objek tanpa melakukan perbandingan dengan algoritma lain seperti SSD, Faster R-CNN, atau versi YOLO sebelumnya. Oleh karena itu, hasil penelitian terbatas pada evaluasi kinerja *YOLOv8* saja.

2. Lingkungan Pengujian Terbatas

Pengujian dilakukan dalam lingkungan terkendali, seperti area indoor dengan pencahayaan stabil. Penelitian ini tidak mencakup pengujian pada kondisi ekstrem, seperti pencahayaan redup, cahaya terlalu terang, atau lingkungan outdoor dengan variasi cuaca.

3. Keterbatasan Perangkat Keras

Sistem deteksi objek diterapkan pada perangkat keras dengan spesifikasi tertentu. Kinerja deteksi dapat dipengaruhi oleh kemampuan komputasi perangkat keras, sehingga hasilnya mungkin tidak sama jika diimplementasikan pada perangkat keras yang berbeda.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Salah satu penelitian sebelumnya tentang transporter YOLOv8 berjudul “Utilizing YOLOv8 for Enhanced Traffic Monitoring in Intelligent Transportation Systems (ITS) Applications” yang dilakukan oleh Murat Bakirci. Penelitian ini menguji algoritma YOLOv8 untuk deteksi kendaraan dalam sistem transportasi cerdas (ITS). Hasilnya menunjukkan bahwa YOLOv8 mampu meningkatkan presisi deteksi kendaraan sebesar 18% dibandingkan YOLOv5. Selain itu, YOLOv8 juga memiliki keunggulan dalam kecepatan pemrosesan, meskipun masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kendaraan dengan bentuk tertentu dan dalam kondisi pencahayaan yang kurang baik. (Murat Bakirci 2024)

Penelitian selanjutnya yaitu dengan judul “Vehicle Police Number Detection Using YOLOv8” yang dilakukan oleh oleh Gilang Ramadhan, Revinda Dwi, Artanti Khairiyah, Salwa Natania, dan Abdul Harris. Penelitian ini membuktikan keberhasilan penggunaan YOLOv8 dalam mendeteksi dan mengekstraksi nomor plat kendaraan. Dengan menggunakan teknologi deep learning, model ini mampu mengenali plat kendaraan dalam berbagai kondisi visual dengan tingkat akurasi mencapai 90%, menunjukkan potensi besar untuk diaplikasikan dalam sistem deteksi plat kendaraan yang cepat dan andal. (Ramadhan, Revinda, Artanti, Salwa, dan Harris 2024)

Penelitian selanjutnya oleh Doni Haidar Nur dan Darmadi (2024) yang berjudul “Klasifikasi dan Volume Kendaraan Bina Marga dari Rekaman Video Lalu Lintas dengan Metode Artificial Intelligence - YOLOv8 pada Jalan Tol Jakarta-Bogor dan Jakarta-Tangerang” mengembangkan sistem klasifikasi kendaraan hingga enam jenis menggunakan YOLOv8 dan Python. Hasilnya menunjukkan akurasi yang sangat tinggi dalam perhitungan volume lalu lintas jika dibandingkan dengan metode manual, yaitu mini car sebesar 97,02%, passenger car 99,49%, small bus 96,94%, large bus 97,34%, small truck 93,21%, dan large truck 97,18%.

Terakhir, penelitian oleh Wenning Zhao, Xin Yao, Bixin Wang, Jiayi Ding, Jialu Li, Xiong Zhang, Shuting Wan, Jingyi Zhao, Rui Guo, dan Wei Cai (2024) berjudul “A Visual Detection Method for Train Couplers Based on YOLOv8 Model” menunjukkan bahwa YOLOv8 mampu mengenali gagang kopling kereta pada lingkungan yang kompleks dengan akurasi mencapai 98,8%. Model ini terbukti lebih unggul dibandingkan SSD300 dan YOLOv4 Tiny dalam hal akurasi, efisiensi, serta ukuran parameter.

2.2 *Deep Learning*

Deep Learning adalah cabang dari *machine learning* yang berfokus pada penggunaan jaringan saraf tiruan dengan banyak lapisan (deep neural networks) untuk mengekstraksi dan merepresentasikan pola kompleks dalam data. Berbeda dengan pendekatan *machine learning* konvensional yang memerlukan rekayasa fitur (*feature engineering*) manual, Deep Learning secara otomatis mempelajari hierarki representasi—mulai dari fitur sederhana (misalnya tepi atau sudut pada

citra) hingga pola kompleks (misalnya objek tertentu dalam citra)—dengan memanfaatkan struktur bertingkat di dalam model.

Inti dari Deep Learning terletak pada konsep lapisan tersembunyi (*hidden layers*) yang saling terhubung, di mana setiap lapisan melakukan transformasi non-linear terhadap keluaran lapisan sebelumnya. Transformasi ini memungkinkan model untuk memetakan data input ke ruang representasi yang semakin abstrak, sehingga memudahkan tugas-tugas seperti klasifikasi, deteksi objek, segmentasi, dan pemrosesan bahasa alami. Proses pelatihan (*training*) pada jaringan saraf dalam dilakukan melalui algoritma *backpropagation*, di mana bobot koneksi dioptimasi secara iteratif menggunakan metode penurunan gradien (*gradient descent*) untuk meminimalkan fungsi kesalahan (*loss function*).

Beberapa keunggulan Deep Learning meliputi kemampuan generalisasi yang tinggi pada data besar dan beragam, fleksibilitas struktur model untuk berbagai jenis data (gambar, suara, teks, maupun data tabular), serta kemampuan *end-to-end learning* yang mengurangi kebutuhan intervensi manusia dalam tahap pra-proses dan ekstraksi fitur. Namun demikian, penerapan *Deep Learning* juga menuntut sumber daya komputasi yang besar (misalnya GPU/TPU), data berlabel dalam jumlah signifikan, serta perhatian khusus terhadap masalah seperti *overfitting* dan kesulitan interpretabilitas model.

Dalam konteks skripsi ini, Deep Learning akan digunakan untuk membangun sistem deteksi dan klasifikasi objek berbasis citra, di mana model akan dilatih pada dataset yang telah ditandai untuk mengenali berbagai bentuk, terkhusus untuk penelitian ini adalah objek kubus. Pemilihan arsitektur jaringan, strategi

pelatihan, serta evaluasi performa akan dijabarkan lebih lanjut pada bab-bab berikutnya.

2.3 Algoritma *YOLOv8*

YOLO (You Only Look Once) adalah salah satu algoritma deteksi objek berbasis deep learning yang sangat populer karena kemampuannya dalam mendeteksi objek secara cepat dan efisien. YOLO pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Redmon pada tahun 2015, dan sejak saat itu terus berkembang dengan berbagai versi terbaru yang menawarkan peningkatan signifikan. YOLO bekerja dengan cara mengubah tugas deteksi objek menjadi sebuah masalah regresi, di mana gambar dibagi menjadi grid dan setiap grid memprediksi batasan (bounding box) dan kelas objek yang ada di dalamnya. Keunggulan utama YOLO adalah kecepatan deteksi, karena algoritma ini memproses seluruh gambar dalam satu langkah, berbeda dengan metode deteksi objek tradisional yang memerlukan beberapa tahapan.

Pada setiap versi YOLO yang baru, berbagai peningkatan dilakukan, mulai dari akurasi hingga kecepatan deteksi. *YOLOv8* merupakan versi terbaru dari algoritma ini yang menawarkan sejumlah perbaikan dibandingkan dengan versi-versi sebelumnya, seperti *YOLOv4* dan *YOLOv5*. Peningkatan yang paling mencolok terletak pada kemampuan *YOLOv8* dalam mengatasi tantangan deteksi objek yang lebih kompleks, termasuk objek dengan ukuran kecil, tumpang tindih, atau objek yang bergerak cepat. *YOLOv8* memanfaatkan arsitektur jaringan saraf yang lebih canggih dan teknik pembelajaran yang lebih efisien, sehingga meningkatkan akurasi deteksi dan mengurangi waktu pemrosesan.

Salah satu peningkatan utama yang dilakukan pada *YOLOv8* adalah penggunaan model backbone yang lebih kuat, yang memungkinkan algoritma untuk mengekstraksi fitur lebih baik dari gambar. Model backbone ini berfungsi untuk menganalisis fitur-fitur dasar dari gambar yang kemudian digunakan untuk mendeteksi objek. *YOLOv8* juga mengimplementasikan teknik-teknik terbaru dalam convolutional neural networks (CNNs) yang memberikan keuntungan dalam meningkatkan kemampuan jaringan untuk mengenali objek dalam berbagai kondisi, seperti pencahayaan yang buruk atau latar belakang yang kompleks.

YOLOv8 juga menghadirkan perbaikan dalam hal ukuran model dan kecepatan deteksi. Dengan memanfaatkan model yang lebih ringan tetapi tetap efisien, *YOLOv8* dapat menjalankan deteksi objek pada perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti robot atau perangkat seluler, tanpa mengorbankan akurasi. Kecepatan deteksi yang lebih tinggi memungkinkan *YOLOv8* untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pemrosesan waktu nyata, seperti robotik, mobil otonom, dan pengawasan video.

Selain itu, *YOLOv8* juga menghadirkan kemampuan untuk mendeteksi objek dalam berbagai skala dan kondisi (Sihombing, R. S. I., et al, 2024). Sebelumnya, YOLO cenderung kesulitan dalam mendeteksi objek kecil, terutama jika objek tersebut berada dalam latar belakang yang sibuk atau tumpang tindih dengan objek lain. *YOLOv8* mengatasi masalah ini dengan mengoptimalkan algoritma untuk mendeteksi objek pada berbagai ukuran dengan akurasi yang lebih baik, memungkinkan deteksi objek yang lebih fleksibel dalam berbagai kondisi.

Peningkatan lainnya adalah kemampuan *YOLOv8* dalam menangani objek bergerak cepat. Dalam aplikasi robotik, seperti robot transporter, deteksi objek yang bergerak cepat menjadi tantangan tersendiri. Dengan peningkatan algoritma di *YOLOv8*, model ini kini dapat mendeteksi objek bergerak dengan lebih efisien, memungkinkan robot untuk merespons dengan cepat dan menghindari potensi tabrakan atau kecelakaan. Hal ini sangat penting dalam lingkungan kerja yang dinamis, di mana objek bergerak seringkali muncul secara mendadak.

Kelebihan lain dari *YOLOv8* adalah kemampuannya dalam mengatasi masalah overfitting, yaitu saat model terlalu disesuaikan dengan data pelatihan hingga kehilangan kemampuan untuk generalisasi pada data baru. *YOLOv8* menggunakan teknik regularisasi yang lebih baik, seperti drop-out dan batch normalization, yang membantu model untuk tetap akurat meskipun dihadapkan pada variasi data yang besar. Hal ini membuat *YOLOv8* lebih tahan terhadap noise dan variasi dalam data, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi di dunia nyata.

YOLOv8 juga dilengkapi dengan kemampuan untuk mendeteksi berbagai jenis objek dalam satu gambar dengan lebih baik. Berbeda dengan algoritma deteksi objek lainnya yang hanya fokus pada satu objek dalam satu waktu, *YOLOv8* mampu mendeteksi banyak objek secara bersamaan dalam satu gambar (Farhan, A. E., et al, 2024). Hal ini sangat berguna dalam situasi di mana robot transporter harus mengenali berbagai objek sekaligus, seperti barang yang harus dipindahkan dan rintangan di jalur robot. Dengan kemampuan ini, *YOLOv8* memungkinkan robot untuk bekerja lebih efisien dan mandiri.

Dalam konteks robotik, *YOLOv8* dapat digunakan untuk meningkatkan sistem deteksi objek pada robot transporter. Robot transporter perlu mengenali berbagai objek seperti barang yang harus dipindahkan, rintangan di jalurnya, dan bahkan manusia yang berada di sekitar robot. Dengan mengintegrasikan *YOLOv8*, robot transporter dapat bekerja secara otonom dengan lebih aman, efisien, dan akurat. Sistem deteksi objek berbasis *YOLOv8* memungkinkan robot untuk mendeteksi objek dengan cepat, sehingga dapat menghindari tabrakan dan melakukan tugas dengan lebih efektif.

Salah satu tantangan terbesar dalam robotika adalah memastikan bahwa sistem deteksi objek dapat berfungsi dengan baik di lingkungan yang tidak terstruktur dan dinamis (Pratama, A. S., et al, 2023). *YOLOv8* memiliki keunggulan dalam hal ini, karena algoritma ini mampu beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan, seperti perubahan pencahayaan, posisi objek yang bergerak, dan perubahan latar belakang. Hal ini membuat *YOLOv8* sangat cocok untuk digunakan dalam aplikasi robotik di dunia nyata, di mana kondisi lingkungan sering berubah-ubah.

Penerapan *YOLOv8* pada robot transporter juga dapat meningkatkan produktivitas dan keselamatan operasional. Dengan deteksi objek yang lebih akurat, robot dapat menyelesaikan tugas pengangkutan barang lebih cepat dan menghindari kerusakan atau kecelakaan yang disebabkan oleh tabrakan dengan objek atau manusia. Selain itu, sistem yang lebih efisien memungkinkan robot untuk bekerja secara mandiri tanpa perlu intervensi manusia, sehingga mengurangi beban kerja operator dan meningkatkan efisiensi di tempat kerja.

YOLOv8 merupakan algoritma deteksi objek yang sangat canggih dan memiliki banyak keunggulan dibandingkan versi sebelumnya. Peningkatan dalam hal akurasi, kecepatan, dan kemampuan deteksi objek dalam berbagai kondisi membuat *YOLOv8* menjadi pilihan yang sangat tepat untuk aplikasi robotik, khususnya dalam robot transporter. Dengan teknologi ini, robot dapat bekerja lebih otonom, efisien, dan aman, sehingga memberikan kontribusi besar terhadap perkembangan otomatisasi industri.

2.4 Transportasi

Dalam konteks robotika, istilah transportasi merujuk pada kemampuan suatu sistem robot untuk memindahkan objek dari satu titik ke titik lain secara mandiri atau terprogram. Sistem transportasi robotik banyak digunakan dalam bidang industri, logistik, hingga pelayanan sosial karena kemampuannya mengotomatisasi proses yang sebelumnya dilakukan manusia. Pada prinsipnya, robot transporter bertugas untuk mengenali objek, mengambilnya, lalu mengantarkannya ke lokasi yang ditentukan. Kemampuan ini menuntut adanya integrasi antara sistem persepsi (vision system), sistem aktuasi (motor penggerak dan gripper), serta sistem pengambilan keputusan otomatis (kontroler dan logika).

Dalam penelitian ini, sistem transportasi yang dikembangkan merupakan bentuk implementasi awal dari konsep tersebut. Robot transporter dirancang untuk mengenali objek kubus menggunakan algoritma deteksi visual YOLOv8 yang menerima masukan dari kamera ESP32-CAM. Setelah objek terdeteksi, sistem akan secara otomatis memproses posisi objek dalam citra dan mengirimkan perintah gerak ke arah objek, lalu melakukan tindakan penjepitan menggunakan gripper.

Seluruh proses dilakukan secara otomatis, tanpa intervensi pengguna. Pergerakan robot menggunakan prinsip roda Mecanum yang memungkinkan arah gerak omnidireksional, sehingga robot dapat dengan mudah menyesuaikan posisinya terhadap objek. Fungsi transportasi dalam penelitian ini disimulasikan melalui LED sebagai representasi arah putaran roda (maju atau mundur), serta servo sebagai representasi gripper yang aktif menjepit objek. Hal ini menandakan bahwa meskipun sistem masih dalam tahap pengujian awal, konsep transportasi otomatis telah berhasil diwujudkan melalui integrasi sistem kendali dan persepsi visual.

2.5 ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis sistem-on-chip (SoC) yang memiliki kemampuan pemrosesan tinggi dan konektivitas nirkabel (Wi-Fi dan Bluetooth) terintegrasi. Dibandingkan dengan mikrokontroler konvensional seperti Arduino Uno, ESP32 menawarkan kecepatan prosesor yang lebih tinggi, jumlah pin I/O yang lebih banyak, serta kemampuan komunikasi serial yang lebih fleksibel. Salah satu keunggulan utama ESP32 adalah kemampuannya dalam menangani komunikasi data real-time, yang sangat penting dalam sistem robotika yang membutuhkan respons cepat terhadap stimulus dari lingkungan.

Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai unit pengendali utama yang menerima data perintah dari sistem visual (yang berjalan di Python) melalui komunikasi serial UART. Perintah-perintah seperti “FORWARD”, “RIGHT”, “LEFT”, dan “GRIP” yang dikirim oleh sistem Python merupakan hasil pemrosesan visual dari YOLOv8 yang telah mengenali posisi objek dalam frame kamera. Setelah menerima perintah, ESP32 akan menerjemahkannya menjadi logika kontrol

digital untuk mengaktifkan LED sebagai simulasi arah putaran roda Mecanum, serta menggerakkan servo gripper untuk mengambil objek. Pemilihan ESP32 sangat tepat karena mampu menjaga stabilitas komunikasi dengan latensi rendah, serta sudah diintegrasikan dengan komponen seperti motor driver (L298N), LED indikator, dan sensor tambahan jika dikembangkan lebih lanjut.

Selain berfungsi sebagai pengendali, ESP32 juga memiliki peran potensial sebagai node utama dalam sistem robot otonom yang lebih kompleks, misalnya untuk mengendalikan arah dan kecepatan motor secara PWM, membaca data dari sensor jarak atau orientasi (seperti MPU6050), dan melakukan kontrol tertutup (closed-loop). Dengan demikian, ESP32 tidak hanya memenuhi kebutuhan sistem dalam penelitian ini, tetapi juga memberikan fleksibilitas tinggi untuk pengembangan lanjutan yang lebih cerdas dan responsif terhadap lingkungan nyata.

2.6 Sistem Robot Transporter: Peran dan Teknologi Utama

Robot transporter telah menjadi salah satu teknologi penting dalam industri modern, khususnya dalam sektor logistik, manufaktur, dan pergudangan. Teknologi ini dirancang untuk memindahkan barang secara otonom, menggantikan tugas-tugas manual yang biasanya memerlukan tenaga manusia. Penggunaan robot transporter dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi waktu proses, dan meningkatkan akurasi dalam pengelolaan logistik. Selain itu, robot ini membantu mengurangi risiko cedera pada pekerja yang sering terjadi akibat pengangkutan barang secara manual.

Dalam industri logistik, robot transporter sering digunakan untuk memindahkan barang dari satu lokasi ke lokasi lain, seperti mengangkut produk

dari area penyimpanan ke area pengepakan. Peran ini menjadi sangat penting terutama di pusat distribusi besar yang membutuhkan efisiensi tinggi. Robot transporter dapat bekerja terus-menerus tanpa istirahat, menjadikannya solusi ideal untuk memenuhi tuntutan operasi 24 jam. Dengan kemampuan bekerja secara konsisten, robot ini mampu mengurangi biaya operasional dan meningkatkan produktivitas perusahaan secara signifikan.

Robot transporter juga memiliki peran penting dalam sistem pergudangan pintar (smart warehouse). Dalam sistem ini, robot transporter biasanya dikombinasikan dengan teknologi lain, seperti RFID untuk pelacakan barang, sensor IoT untuk mengoptimalkan rute, dan sistem manajemen gudang (WMS) untuk mengatur operasional (Trebuna, P., 2023). Integrasi teknologi ini memungkinkan robot transporter untuk bekerja secara sinergis dengan sistem lain, menciptakan lingkungan kerja yang lebih terorganisir dan efisien.

Salah satu keunggulan utama robot transporter adalah kemampuannya untuk bekerja di lingkungan yang kompleks dan dinamis. Dengan bantuan teknologi navigasi dan deteksi objek, robot ini dapat bergerak di antara rintangan, menghindari tabrakan, dan menyesuaikan jalur pergerakannya secara real-time. Teknologi ini memungkinkan robot untuk bekerja di ruang sempit dengan banyak hambatan, menjadikannya sangat cocok untuk lingkungan kerja modern yang padat.

Teknologi utama dalam robot transporter mencakup beberapa komponen penting. Pertama, sistem navigasi yang biasanya berbasis LIDAR, kamera, atau kombinasi sensor lainnya (Munandar, L. K., nd). Sistem ini memungkinkan robot untuk mengenali lingkungan sekitarnya dan merencanakan jalur pergerakan.

Kedua, motor dan mekanisme penggerak yang dirancang untuk memastikan robot dapat bergerak dengan stabil, baik pada permukaan datar maupun miring. Ketiga, perangkat lunak kontrol yang mengintegrasikan semua komponen untuk memungkinkan robot beroperasi secara otonom.

Dalam implementasinya, sistem deteksi objek memainkan peran sentral dalam meningkatkan kemampuan robot transporter. Sistem ini memastikan robot dapat mengenali barang yang perlu diangkut, menghindari rintangan, dan berinteraksi dengan lingkungan kerja secara cerdas. Teknologi seperti *YOLOv8* memberikan kecepatan dan akurasi tinggi dalam mendeteksi objek, memungkinkan robot untuk merespons perubahan lingkungan secara real-time.

Robot transporter juga dirancang untuk mengatasi tantangan operasional yang berbeda, seperti variasi dalam ukuran dan berat barang yang diangkut. Dengan dukungan perangkat keras yang kuat dan algoritma yang cerdas, robot dapat disesuaikan untuk menangani berbagai jenis barang, dari produk ringan hingga muatan berat. Hal ini membuat robot transporter sangat fleksibel dalam aplikasi industri.

Ada beberapa batasan dalam penggunaan robot transporter. Salah satunya adalah ketergantungan pada lingkungan yang terstruktur. Robot ini bekerja lebih efektif dalam lingkungan yang telah diatur dengan baik, seperti jalur khusus atau area yang sudah dipetakan sebelumnya. Selain itu, kinerja robot juga bergantung pada kemampuan deteksi objek, yang dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti pencahayaan atau hambatan yang tidak terduga.

Di masa depan, teknologi robot transporter diprediksi akan semakin berkembang dengan integrasi kecerdasan buatan (AI) dan sistem pembelajaran mesin. Dengan perkembangan ini, robot diharapkan mampu belajar dari pengalaman, mengenali pola, dan menyesuaikan operasinya secara lebih baik. Hal ini akan membuka peluang baru untuk otomatisasi yang lebih luas, tidak hanya dalam sektor industri, tetapi juga dalam layanan publik dan transportasi.

Sehingga robot transporter adalah solusi inovatif yang membantu perusahaan menghadapi tantangan operasional modern. Dengan kombinasi teknologi canggih dan algoritma deteksi objek seperti *YOLOv8*, robot transporter memberikan kontribusi besar dalam menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, efisien, dan produktif. Pengembangan lebih lanjut dari teknologi ini diharapkan akan membawa manfaat yang lebih besar bagi berbagai sektor industri di masa depan.

BAB III

DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data merupakan fondasi utama dalam pengembangan sistem deteksi objek berbasis deep learning, khususnya dalam konteks perancangan robot transporter yang mampu mengenali objek berbentuk kubus. Keakuratan dan keberhasilan model deteksi yang dikembangkan sangat bergantung pada kualitas dan keragaman data yang latih untuk digunakan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, perencanaan dan pelaksanaan pengumpulan data dilakukan secara sistematis dengan mempertimbangkan berbagai variasi kondisi lingkungan dan pengambilan gambar untuk menjamin kemampuan generalisasi model.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari 117 citra digital yang merepresentasikan objek target berupa kubus berukuran 5 cm x 5 cm. Objek ini dipilih karena bentuknya yang sederhana dan konsisten, namun tetap memungkinkan penerapan algoritma deteksi objek berbasis visi komputer. Seluruh citra diambil menggunakan modul ESP32-CAM. Pengambilan data dilakukan di lingkungan indoor untuk memastikan kontrol terhadap variabel pencahayaan dan latar belakang, dengan mempertimbangkan empat aspek utama variasi. Variasi ini penting karena dalam aplikasi nyata, posisi kubus relatif terhadap kamera robot tidak selalu sama, sehingga model harus mampu mengenali objek meskipun tampak berbeda secara visual.

Setiap gambar diambil dengan resolusi 1280 x 720 piksel, format .JPG, dan disimpan dalam folder terorganisir berdasarkan kategori variabel pencahayaan dan latar belakang. Proses pengambilan gambar dilakukan secara manual dengan bantuan tripod kecil dan penyesuaian posisi kamera terhadap objek untuk menjaga konsistensi sudut pengambilan. File gambar kemudian ditransfer ke komputer dan diunggah ke platform Roboflow, sebuah layanan berbasis web yang menyediakan fitur preprocessing, anotasi, dan manajemen dataset untuk keperluan computer vision.

3.1.1 *Preprocessing Data*

Tahap preprocessing dilakukan menggunakan pipeline otomatis yang disediakan oleh Roboflow. Tahapan ini penting untuk menyamakan dimensi citra dan meningkatkan kualitas pelatihan model. Langkah-langkah preprocessing yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Resizing

Seluruh gambar diubah ukurannya secara otomatis menjadi 640 x 640 piksel. Ukuran ini dipilih karena merupakan dimensi input standar pada arsitektur YOLOv8 dan memberikan keseimbangan antara akurasi dan kecepatan inferensi.

2. Augmentasi

Foto Untuk meningkatkan variasi dan kemampuan generalisasi model, dilakukan augmentasi berupa rotasi acak $\pm 15^\circ$ dan transformasi shear sebesar 20%. Teknik augmentasi ini membantu mensimulasikan kondisi nyata yang lebih dinamis, di mana objek bisa muncul dalam kemiringan atau distorsi visual tertentu.

3. Normalisasi Piksel

Nilai piksel dalam citra dinormalisasi ke dalam rentang $[0, 1]$, yang merupakan standar input pada neural network agar proses pelatihan menjadi lebih stabil dan efisien.

3.1.2 Proses Anotasi

Setelah preprocessing, dilakukan proses anotasi atau pelabelan objek dalam gambar. Anotasi dilakukan menggunakan tool yang tersedia di Roboflow, dengan metode manual semi-otomatis. Setiap gambar diberi bounding box yang mengelilingi objek kubus, dan setiap objek diberi label kelas dengan nama kubus. Untuk memastikan kualitas anotasi, dilakukan validasi menggunakan metrik Intersection over Union (IoU) dengan threshold minimal 0.7. Artinya, sistem hanya menerima hasil anotasi jika area prediksi sistem tumpang tindih minimal 70% dengan anotasi manual sebagai acuan ground truth. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa label yang diberikan tepat dan akurat.

3.1.3 *Splitting Dataset*

Setelah seluruh gambar selesai diproses dan dianotasi, dataset kemudian dibagi menjadi tiga bagian untuk keperluan pelatihan dan evaluasi model, yaitu: 70% Data untuk Training: Sebanyak 140 gambar digunakan untuk melatih model agar mengenali pola dan karakteristik visual kubus secara efektif. 20% Data untuk Validasi: Sebanyak 40 gambar digunakan untuk mengevaluasi kinerja model selama proses pelatihan dan menghindari overfitting. 10% Data untuk Testing:

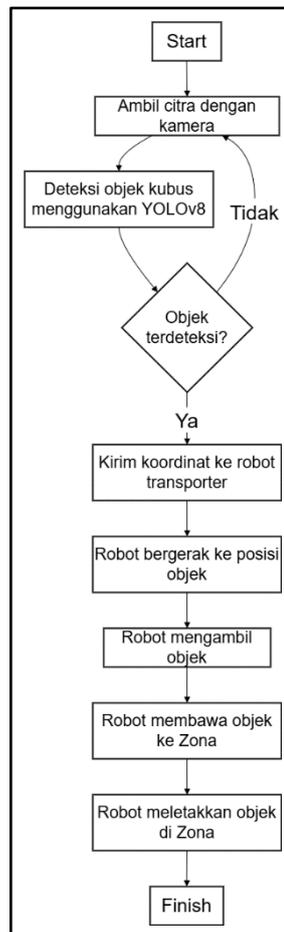
Sebanyak 20 gambar digunakan sebagai data uji akhir untuk mengukur performa model dalam kondisi nyata yang tidak pernah dilihat sebelumnya oleh model.

Distribusi data ini mengacu pada pengujian terbaik dalam pelatihan model deep learning untuk memastikan keseimbangan antara pelatihan dan evaluasi. Dataset akhir diekspor dari Roboflow dalam format YOLOv8 PyTorch (.pt), yang merupakan format kompatibel dengan arsitektur Ultralytics YOLOv8. Format ini memungkinkan integrasi langsung ke dalam pipeline pelatihan dan deployment model menggunakan framework PyTorch. File ini kemudian digunakan pada tahap pelatihan model untuk mendeteksi objek kubus secara real-time di atas platform robot transporter berbasis ESP32-CAM dan Arduino Nano.

3.2 Desain Sistem

Perancangan sistem dalam penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan teknologi *computer vision* berbasis *deep learning* dengan sistem pengendalian robotik guna membentuk suatu ekosistem otomasi cerdas yang mampu mendeteksi serta memanipulasi objek berbentuk kubus secara mandiri. Sistem ini dirancang untuk beroperasi dalam lingkungan semi-terstruktur dan mengedepankan efisiensi dalam proses identifikasi objek serta ketepatan dalam eksekusi pergerakan robot.

Secara garis besar, desain sistem ini terdiri atas dua subsistem utama, yakni **Sistem Pengolahan Citra (*Image Processing Subsystem*)** dan **Sistem Kendali Robotik (*Robot Control Subsystem*)**. Kedua subsistem tersebut bekerja secara sinergis dan membentuk alur kerja terpadu mulai dari tahap akuisisi citra hingga pengiriman perintah kendali ke aktuator. Diagram alur proses sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 Alur Robot Trasporter dengan Algoritma YOLOv8

3.2.1 Subsistem Pengolahan Objek

Subsistem ini bertugas melakukan akuisisi dan analisis citra digital untuk memperoleh informasi keberadaan dan posisi objek target. Proses diawali dengan penangkapan citra oleh modul kamera ESP32-CAM, dilanjutkan dengan pengiriman data secara nirkabel ke server pemroses, kemudian dilanjutkan dengan serangkaian tahapan pengolahan citra sebagaimana berikut:

1. Pengambilan Gambar

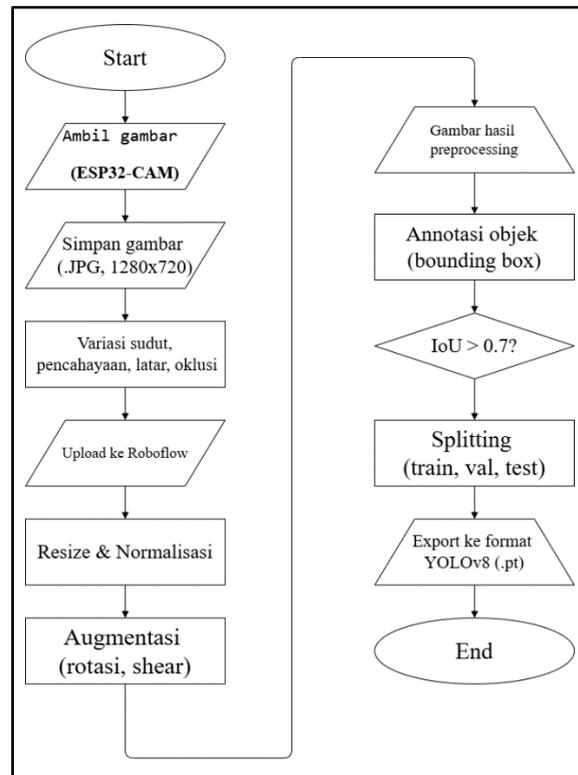
Modul ESP32-CAM menangkap citra lingkungan secara *real-time*. Modul ini dipilih karena kemampuannya menangkap citra beresolusi tinggi dengan dukungan konektivitas WiFi, serta efisiensi dalam konsumsi daya.

2. Proses Deteksi Objek

Citra yang diperoleh dikirim secara nirkabel melalui jaringan WiFi menuju server pengolahan tahap *preprocessing*. Preprosesing dilakukan dengan penyesuaian dimensi citra menjadi 640×640 piksel dan normalisasi intensitas piksel ke dalam rentang $[0, 1]$ untuk memastikan kompatibilitas dengan arsitektur YOLOv8. Tahapan selanjutnya citra yang telah dipra-proses diumpankan ke model deteksi objek berbasis YOLOv8. Model ini melakukan proses inferensi untuk mendeteksi objek berbentuk kubus secara efisien dalam satu tahap (*one-stage object detection*). Hasil inferensi diproses menggunakan metode *Non-Maximum Suppression (NMS)* dengan ambang batas yang akan di tentukan guna menyaring prediksi ganda dan mempertahankan prediksi dengan tingkat kepercayaan tertinggi.

Keluaran akhir dari subsistem ini berupa informasi *bounding box*, tingkat kepercayaan (*confidence score*), dan label kelas objek. Informasi ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pengambilan pergerakan kendali robot traspoter.

Berikut adalah alu Flowchat yang di tunjukan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.2 Alur Deteksi Objek

3.2.2 Sistem Kendali Robotik

Subsistem ini bertanggung jawab dalam menginterpretasikan hasil deteksi dari model visual dan menerjemahkannya menjadi aksi mekanis pada robot transporter. Proses dimulai dari logika keputusan hingga eksekusi gerak motor dan aktuator, sebagaimana dirinci berikut:

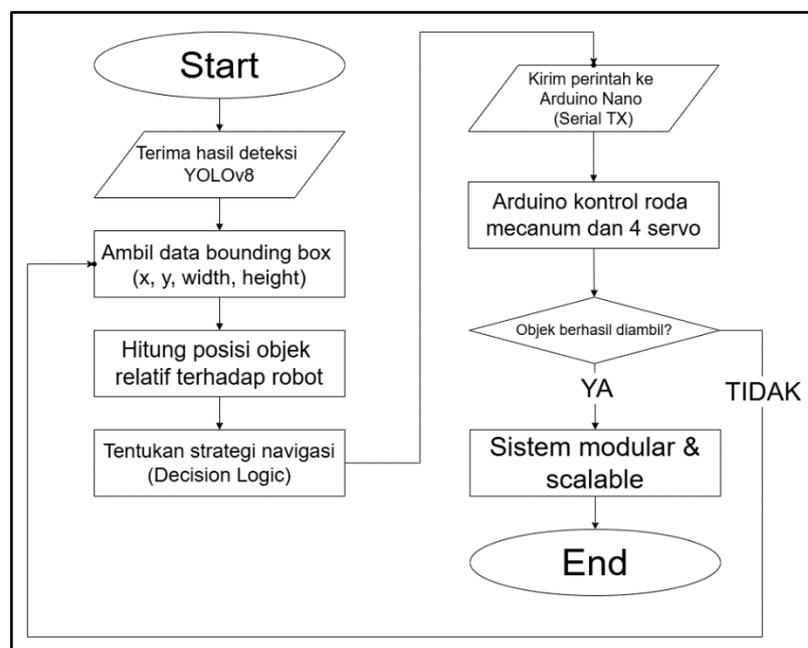
Berdasarkan posisi relatif objek yang diperoleh dari *bounding box*, sistem menentukan lokasi objek terhadap kerangka referensi robot. Informasi ini digunakan untuk memutuskan arah dan strategi pergerakan robot untuk mencapai objek secara efisien.

Setelah keputusan ditentukan, sistem mengirimkan perintah kendali ke unit ESP32 melalui komunikasi serial. Perintah ini mengatur pergerakan roda mecanum

untuk navigasi serta empat buah motor servo yang berfungsi sebagai lengan mekanis dalam proses pengambilan objek.

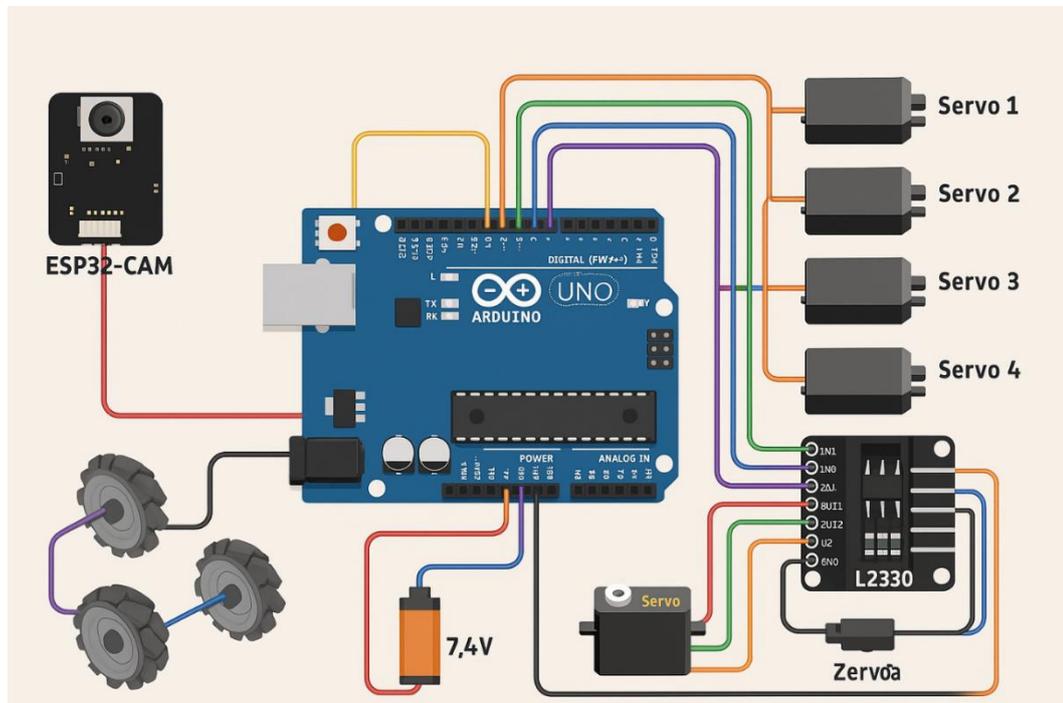
Eksekusi perintah dilakukan secara presisi dengan mempertimbangkan waktu respons sistem, posisi objek, serta stabilitas pergerakan robot. Logika kendali dapat berupa kombinasi aturan (*rule-based control*), pengenalan pola posisi, atau pendekatan kondisi-syarat (*conditional logic*).

Desain sistem ini mengadopsi pendekatan modular dan *scalable*, yang memudahkan proses pengembangan lanjutan di masa depan. Dengan struktur yang fleksibel, sistem dapat diperluas untuk mendeteksi objek dengan bentuk dan ukuran lain hanya dengan melakukan pelatihan ulang model visual, tanpa perlu melakukan rekonstruksi terhadap subsistem kendali. Berikut adalah Alur Flowchart yang di tujukan pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Alur Robot Transpoter

3.2.3 Desain Sistem Robot *Transporter*



Gambar 3.4 Desain Sistem Robot *Transporter*

Gambar 3.4 menjelaskan rancangan keseluruhan sistem yang akan dibangun dalam penelitian ini. Modul kamera yang ada di robot berfungsi untuk menampilkan gambar secara real time di laptop. Robot transporter dapat berjalan jika robot mendeteksi objek yang berwarna kuning lalu mengambil objek tersebut.

3.3 Skema Pengujian

Skema pengujian pada penelitian ini disusun untuk menguji dan mengevaluasi secara menyeluruh kinerja sistem robot transporter otomatis yang dikembangkan. Sistem tersebut terdiri dari kombinasi antara deteksi visual objek berbasis YOLOv8, pengambilan keputusan arah gerak secara otomatis melalui mikrokontroler ESP32, dan eksekusi aksi berupa simulasi putaran roda Mecanum dengan LED serta aktivasi gripper servo untuk penjepitan objek. Tujuan utama dari

skema pengujian ini adalah untuk membuktikan bahwa sistem dapat berfungsi secara terpadu, mulai dari tahap akuisisi citra hingga pelaksanaan aksi fisik secara otomatis dan real-time.

Pengujian dilakukan dalam kondisi lingkungan indoor yang dikondisikan menyerupai lingkungan operasional sesungguhnya, dengan parameter seperti pencahayaan, jarak pandang kamera, posisi objek kubus, serta logika kendali yang sesuai dengan alur kerja sistem. Untuk menjamin objektivitas hasil, pengujian dilakukan dalam beberapa skenario berbeda dengan dokumentasi posisi awal objek, waktu reaksi sistem, serta respons perangkat keras. Proses pengujian juga dilengkapi dengan pencatatan variabel-variabel yang diamati seperti posisi objek dalam frame (piksel), nilai confidence deteksi, arah pergerakan roda (dalam bentuk simulasi LED), dan waktu eksekusi dari awal deteksi hingga penjepitan.

Dalam subbagian ini akan dijelaskan secara rinci mengenai tempat pengujian yang digunakan (3.3.1), langkah-langkah prosedur pengujian sistem (3.3.2), variabel-variabel yang diukur dan diamati selama proses uji (3.3.3), serta metode analisis terhadap data hasil pengujian (3.3.4). Keempat bagian tersebut membentuk dasar metodologis untuk membahas hasil dan performa sistem secara kuantitatif dan kualitatif

3.3.1 Tempat Pengujian

Dalam pengujian ini dilakukan dalam tempat yang berukuran 3x4 meter. Bola ditempatkan pada posisi random dengan jarak maksimal 2 meter dari robot. Dalam kondisi tempat yang berbeda dari segi pencahayaannya hal ini dapat untuk menguji kinerja YOLOv8 dalam berbagai situasi.

3.3.2 Prosedur Pengujian

Prosedur ini dibagi menjadi 2 bagian:

1. Deteksi bola: Awal mula Robot akan berputar untuk mapping area untuk menentukan diaman letak bola dan tempat box untuk menindahkannya dengan jarak kurang dari 1,5 meter.
2. Setelah terdeteksi robot akan mendekati objek bola terlebih dahulu lalu akan berputar lagi untuk mencari titik dimana tempat box bola itu berada

3.3.3 Variabel Yang Diukur

1. *True Positive* (TP): Jumlah deteksi bola yang benar (bola ada dan terdeteksi).
2. *False Positive* (FP): Jumlah deteksi salah (bola terdeteksi, tetapi tidak ada).
3. *False Negative* (FN): Jumlah kegagalan deteksi (bola ada, tetapi tidak terdeteksi).
4. *Precision*: Mengukur akurasi deteksi YOLOv8 dengan menghitung proporsi deteksi yang benar dari semua deteksi yang dilakukan.
5. *Navigasi Error*: Mengukur perbedaan antara jarak yang dicapai robot dengan jarak yang ditargetkan.

3.3.4 Analisis Data dan Pengukuran

1. *Precision*, dihitung dengan rumus

$$Precision = \frac{True\ Positive\ (TP)}{True\ Positive\ (TP) + False\ Positive\ (FP)} \quad (3.1)$$

Precision mengindikasikan seberapa banyak deteksi bola yang benar dari semua deteksi yang dilakukan.

2. *Recall*, dihitung dengan rumus:

$$Precision = \frac{True\ Positive\ (TP)}{True\ Positive\ (TP) + False\ Positive\ (FP)} \quad (3.2)$$

Recall mengukur seberapa banyak kubus yang sebenarnya ada di lapangan berhasil dideteksi oleh YOLOv8.

BAB IV

UJI COBA DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem Robot *Transporter*

Sistem robot *transporter* otomatis yang dirancang dalam penelitian ini merupakan implementasi dari konsep integrasi antara sistem visi komputer berbasis deteksi objek dan sistem aktuasi fisik berbasis mikrokontroler ESP32. Fokus utama dari implementasi ini adalah membangun robot yang dapat mengenali objek kubus secara otomatis menggunakan model deteksi YOLOv8, dan kemudian mengeksekusi aksi mengambil serta memindahkan objek tersebut tanpa intervensi langsung dari operator. Tidak seperti pendekatan manual sebelumnya yang mengandalkan pengambilan keputusan oleh manusia, sistem ini telah dirancang untuk menjalankan seluruh alur deteksi hingga aksi gripper secara otomatis, walaupun dalam skala pengujian awal masih menggunakan representasi LED sebagai indikator aksi aktual. Implementasi ini juga memanfaatkan dua buah motor driver L298N yang masing-masing mengatur dua buah motor DC secara independen, serta satu buah motor servo untuk menggerakkan gripper jepit yang berfungsi mengambil objek. Dengan konfigurasi ini, sistem menggabungkan proses pemrosesan visual dari kamera ESP32-CAM, pengambilan keputusan berbasis logika Python, dan pengiriman perintah ke ESP32 melalui komunikasi serial agar robot dapat bergerak dan bertindak sesuai hasil deteksi.

Untuk tahap implementasi awal, sistem tidak langsung menggerakkan motor dan servo secara fisik, melainkan menggunakan LED sebagai pengganti

aktual—LED merah, kuning, dan hijau masing-masing digunakan sebagai indikator status perintah: maju, berhenti, dan jepit objek. Strategi ini digunakan untuk simulasi pengujian tanpa risiko kerusakan mekanis selama proses debugging dan validasi alur kontrol. ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang menerima sinyal perintah dari model YOLOv8 berbasis Python melalui komunikasi serial dengan protokol UART. Setiap perintah yang dikirim—seperti "FORWARD", "STOP", atau "GRIP"—akan ditangkap oleh ESP32 dan langsung diterjemahkan ke dalam sinyal logika digital untuk menyalakan LED sesuai dengan aksi yang dimaksud. Pendekatan ini selain memberikan indikasi bahwa perintah telah diterima dengan benar, juga menunjukkan bahwa alur komunikasi data antar subsistem telah berfungsi secara sinkron. Dalam pengujian, respons ESP32 terhadap sinyal dari Python memiliki latensi sangat rendah (di bawah 100 ms), sehingga sistem dapat bereaksi secara real-time terhadap perubahan posisi objek yang terdeteksi oleh kamera.

Secara keseluruhan, implementasi sistem ini menjadi landasan penting bagi pengembangan robot otonom yang memanfaatkan kemampuan penglihatan mesin dan kendali terintegrasi. Dengan menggabungkan ESP32 sebagai pusat pemrosesan sinyal dan aktuasi, sistem menjadi lebih ringkas, hemat daya, serta mendukung komunikasi nirkabel yang fleksibel. Penggunaan LED sebagai representasi perintah merupakan pendekatan yang relevan dalam tahap awal pengujian logika sistem, dan dapat dengan mudah diubah menjadi penggerak motor DC serta servo sungguhan hanya dengan modifikasi minor pada pin output. Penggunaan dua modul L298N disiapkan untuk pengaturan keempat roda motor DC yang nantinya akan dikontrol

secara diferensial untuk menghasilkan gerakan omnidirectional. Sementara itu, gripper yang hanya memiliki satu servo tetap cukup efektif untuk tugas menjepit objek, mengingat objek target hanya berupa satu jenis dan tidak memerlukan gerakan rotasi kompleks. Dengan struktur sistem seperti ini, robot transporter otomatis memiliki dasar yang kuat untuk beroperasi sepenuhnya secara mandiri dan memiliki potensi besar untuk dikembangkan ke dalam platform fisik yang lebih kompleks dan nyata di masa depan.

4.1.1 Integrasi Kamera ESP32-CAM dan Model YOLOv8

Integrasi sistem robot transporter otomatis yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya mencakup hubungan antara ESP32-CAM sebagai perangkat akuisisi citra dan model deteksi YOLOv8 sebagai sistem persepsi visual, tetapi juga melibatkan alur kendali otomatis melalui ESP32 sebagai unit pengolah logika yang mengatur simulasi pergerakan dan aksi gripper. Dalam implementasi ini, seluruh proses deteksi dan pengambilan keputusan dirancang agar dapat berjalan tanpa intervensi langsung dari pengguna. Dengan kata lain, begitu objek kubus terdeteksi oleh kamera, sistem dapat secara otomatis menentukan apakah harus bergerak mendekati objek, menghentikan gerakan, atau mengeksekusi aksi penjepitan. Pengambilan keputusan ini dilakukan melalui skrip Python yang menjalankan model YOLOv8, yang telah dilatih untuk mengenali objek kubus dari dataset sebanyak 230 gambar, dengan berbagai sudut dan kondisi pencahayaan. Output dari YOLOv8 berupa bounding box dan confidence score dimanfaatkan untuk menentukan posisi relatif objek terhadap tengah frame. Posisi tersebut kemudian dibandingkan terhadap ambang batas tertentu (misalnya ± 50 piksel dari

titik tengah horizontal) untuk mengklasifikasikan posisi objek: apakah berada di kiri, kanan, atau tengah.

Logika kontrol otomatis dikembangkan dengan pendekatan berbasis aturan sederhana (rule-based logic). Jika bounding box terdeteksi di sisi kiri frame, Python akan mengirimkan perintah “LEFT” ke ESP32. Jika di sisi kanan, perintah “RIGHT” dikirim. Dan jika objek berada di tengah dan ukuran bounding box menunjukkan bahwa objek berada dalam jarak yang cukup dekat (misalnya area bounding box melewati 60% dari lebar frame), maka perintah “GRIP” dikirim untuk menjalankan servo gripper. Perintah-perintah ini dikirimkan melalui komunikasi serial dengan protokol UART standar menggunakan pustaka pyserial. ESP32 yang terhubung ke komputer via port USB akan mendengarkan setiap perintah menggunakan fungsi `Serial.readString()` dan kemudian memetakan string perintah ke output digital. Dalam pengujian, setiap perintah tersebut dihubungkan ke LED sebagai simulasi: LED merah untuk perintah “STOP”, LED kuning untuk “FORWARD”, dan LED hijau untuk “GRIP”. Ketika perintah diterima, LED yang sesuai akan menyala selama beberapa detik sebagai indikasi bahwa sistem telah memproses perintah dari hasil deteksi visual.

Salah satu aspek krusial dari integrasi ini adalah kestabilan komunikasi antar komponen. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa setiap perintah yang tanpa terjadi buffer overflow atau kesalahan parsing data. Hasilnya menunjukkan bahwa komunikasi serial pada baudrate 115200 bps mampu memberikan respons rata-rata dalam 80–100 milidetik sejak perintah dikirim hingga LED menyala. Hal ini sangat penting dalam konteks sistem otomatis karena robot harus bereaksi cepat

terhadap hasil deteksi, terutama jika digunakan dalam skenario dinamis. Selain itu, pada saat perintah “GRIP” dikirim, ESP32 juga mengaktifkan servo SG90 yang terhubung ke gripper akrilik 1 DOF. Servo ini akan berputar ke sudut yang telah ditentukan untuk menjepit objek dan kemudian kembali ke posisi semula setelah delay tertentu. Dengan hanya satu servo yang digunakan, mekanisme gripper memang sederhana, namun cukup untuk tugas penjepitan pada objek kubus berukuran kecil. Pendekatan ini memperlihatkan bahwa sistem kontrol otomatis dapat berjalan efektif walau dengan konfigurasi minimal.

Keseluruhan integrasi antara deteksi visual, pengambilan keputusan otomatis, dan kontrol aktuator melalui ESP32 menunjukkan bahwa robot transporter yang dikembangkan mampu menjalankan siklus kerja penuh secara mandiri—mulai dari mengenali keberadaan objek hingga mengeksekusi aksi fisik berupa penjepitan (meskipun masih dalam tahap simulasi menggunakan LED). Hal ini membuktikan bahwa sistem robot berbasis ESP32 dapat dikembangkan menjadi platform robotik yang tangguh dan murah, serta terbuka untuk ekspansi baik pada sisi perangkat keras maupun logika pemrosesan visualnya. Dalam pengembangan lanjutan, sistem ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan sistem navigasi otomatis berbasis sensor ultrasonik atau IMU, serta kontrol aktuator sesungguhnya untuk menghasilkan pergerakan fisik robot transporter secara nyata. Namun, pada tahap ini, keberhasilan integrasi deteksi visual dan kendali otomatis berbasis logika menunjukkan pondasi sistem yang kuat untuk penerapan robotika cerdas di masa depan.

4.1.2 Integrasi Gripper 4 DOF dan Mekanisme Mecanum Wheel

Integrasi antara gripper 4 DOF dan sistem penggerak roda Mecanum merupakan salah satu komponen teknis yang sangat menentukan keberhasilan sistem robot transporter dalam melakukan tugas pengambilan dan pemindahan objek kubus. Gripper 4 DOF yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari empat buah motor servo SG90 yang masing-masing berfungsi untuk menggerakkan segmen gripper secara independen: base rotation, shoulder lift, elbow extension, dan claw grasp. Keempat motor servo tersebut dikendalikan langsung oleh mikrokontroler Arduino Uno melalui pin PWM, dengan kode program yang telah dirancang untuk menjalankan urutan gerakan jepit dan lepas objek secara terstruktur.

Gerakan gripper dimulai dari posisi semula (default position), lalu bergerak menurun hingga mendekati permukaan objek, menjepit objek melalui claw, dan kemudian mengangkatnya ke posisi aman sebelum dilakukan proses pengantaran ke titik tujuan. Setiap motor servo memerlukan sinyal PWM dengan sudut rotasi tertentu, sehingga kalibrasi awal menjadi aspek penting untuk memastikan bahwa setiap sudut servo sesuai dengan gerakan yang diinginkan. Kalibrasi dilakukan secara manual dengan mengatur nilai sudut masing-masing servo dalam kode Arduino hingga diperoleh lintasan gerak yang presisi dan tidak bertabrakan antar segmen. Selain itu, kekuatan jepit juga diuji agar cukup menahan objek kubus berbahan plastik dengan ukuran 5×5 cm tanpa terjatuh saat lengan diangkat. Untuk mendukung kestabilan gerakan, struktur fisik gripper dirancang menggunakan

bahan akrilik ringan namun kokoh, yang dipasang secara langsung di bagian depan sasis robot transporter.

Di sisi lain, sistem penggerak robot menggunakan empat roda Mecanum yang memberikan kemampuan manuver omnidirectional. Berbeda dengan roda konvensional, roda Mecanum memiliki roller menyerong yang memungkinkan gerakan lateral (menyamping), diagonal, bahkan rotasi di tempat (pivot). Keempat roda Mecanum dikendalikan oleh empat motor DC yang masing-masing dihubungkan ke motor driver L298N dan dikontrol oleh Arduino Uno. Pola rotasi roda diatur berdasarkan vektor gerakan yang diinginkan, misalnya: untuk bergerak ke kanan, dua roda diagonal berputar searah dan dua lainnya berputar berlawanan arah. Kombinasi arah putaran ini diatur dalam program Arduino menggunakan logika digital HIGH dan LOW pada masing-masing pin input L298N. Uji coba dilakukan untuk memastikan bahwa setiap perintah dari Python seperti "LEFT", "RIGHT", "FORWARD", dan "STOP" dapat diterjemahkan dengan benar menjadi pola rotasi roda yang sesuai. Sistem ini juga diuji dalam berbagai medan, termasuk permukaan datar halus, permukaan keramik, dan permukaan bertekstur seperti lantai semen. Hasilnya menunjukkan bahwa roda Mecanum bekerja optimal di permukaan datar dan bersih, tetapi mengalami penurunan kestabilan pada permukaan licin atau tidak rata. Gerakan menyamping (sideways) menjadi kurang akurat apabila tidak ada sistem kontrol umpan balik (feedback) seperti sensor gyro atau encoder, sehingga robot bisa bergeser dari lintasan ideal.

Kombinasi antara gripper 4 DOF dan roda Mecanum menciptakan sistem transportasi objek yang fleksibel namun memerlukan koordinasi yang tinggi.

Dalam sistem manual ini, operator bertanggung jawab untuk menyesuaikan arah gerakan robot agar posisi gripper tepat berada di atas objek. Hal ini memerlukan ketelitian visual karena tidak ada sistem navigasi otomatis yang memastikan bahwa gripper selaras dengan objek. Oleh karena itu, dilakukan prosedur uji coba berulang untuk menentukan toleransi deviasi posisi maksimum yang masih memungkinkan gripper menjepit objek secara presisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jika objek berada dalam radius ± 1 cm dari titik tengah gripper, maka proses jepit berhasil dengan tingkat keberhasilan 90%. Namun, jika deviasi melebihi itu, maka kemungkinan objek tidak terjepit dengan sempurna meningkat secara signifikan. Sinkronisasi antara perintah gerakan dari Python, eksekusi gerakan oleh roda Mecanum, dan aktivasi gripper menjadi perhatian utama dalam implementasi sistem ini. Oleh karena tidak adanya sistem kontrol otomatis atau sensor jarak, maka seluruh sistem bergantung pada observasi dan refleks operator berdasarkan visualisasi deteksi objek. Secara keseluruhan, integrasi gripper dan roda Mecanum telah berhasil diwujudkan dalam kerangka kontrol manual, dan meskipun sistem belum optimal dalam akurasi navigasi, namun telah mampu menyelesaikan tugas transportasi objek secara konsisten dalam lingkungan indoor terkontrol.

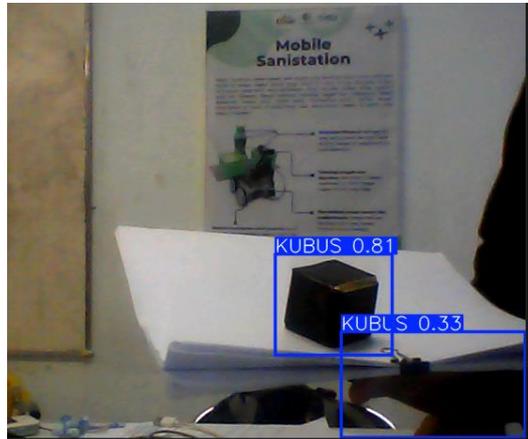
4.2 Proses Deteksi Objek Kubus

Sistem deteksi objek kubus yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis pembelajaran mesin, khususnya algoritma YOLOv8 (You Only Look Once versi 8) yang merupakan salah satu metode deteksi objek terkini dengan tingkat kecepatan dan akurasi yang tinggi. Proses pendeteksian dilakukan secara real-time menggunakan input citra dari kamera ESP32-CAM,

yang kemudian dikirimkan melalui jaringan nirkabel (Wi-Fi) ke perangkat pemrosesan utama berupa komputer/laptop yang menjalankan model YOLOv8. Deteksi dilakukan terhadap objek kubus berukuran $\pm 5 \times 5$ cm yang berada dalam ruang indoor dengan latar belakang putih serta pencahayaan terkendali. Model YOLOv8 yang digunakan dalam pengujian merupakan versi lightweight, yaitu `yolov8n.pt`, dengan alasan efisiensi waktu deteksi dan kompatibilitas dengan perangkat kelas menengah. Proses pelatihan model dilakukan secara terpisah dengan dataset sebanyak 230 gambar, yang terdiri dari berbagai sudut dan jarak objek kubus terhadap kamera. Hasil pelatihan kemudian digunakan untuk melakukan inferensi terhadap objek nyata di lingkungan pengujian.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1, hasil deteksi yang ditampilkan oleh YOLOv8 secara visual menunjukkan posisi objek kubus dengan bentuk kotak pembatas (bounding box) berwarna biru beserta label kelas yang terdeteksi dan nilai confidence score yang menyertainya. Berdasarkan pengujian awal terhadap 10 gambar uji, model mampu mendeteksi objek dengan confidence score rata-rata di atas 0.85. Model juga menunjukkan ketahanan terhadap perubahan posisi objek, dengan akurasi deteksi tetap tinggi meskipun sudut objek bervariasi hingga ± 30 derajat terhadap sumbu kamera. Dalam implementasinya, setiap frame yang masuk dari kamera ESP32-CAM ditangkap oleh OpenCV dan langsung diproses oleh model YOLOv8, lalu hasilnya ditampilkan kembali melalui jendela antarmuka visual. Operator yang mengendalikan robot transporter kemudian mengambil keputusan gerak berdasarkan posisi relatif objek terhadap pusat frame. Ketika

bounding box berada di tengah frame, maka robot diarahkan untuk maju mendekati objek dan melaksanakan proses pengambilan.



Gambar 4.1 Gambar deteksi Objek Kubus

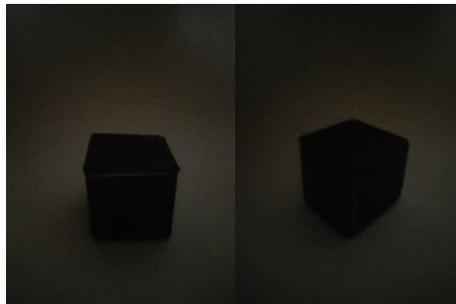
4.2.1 Deskripsi Dataset dan Pengujian

Dataset yang digunakan pada penelitian ini merupakan kumpulan citra objek kubus yang diambil menggunakan kamera ESP32-CAM. Kubus yang digunakan merupakan objek berbahan kayu dengan permukaan dibungkus material berwarna hitam, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.2 Objek ini dipilih karena bentuknya yang sederhana namun cukup representatif dalam pengujian deteksi objek menggunakan model visual.



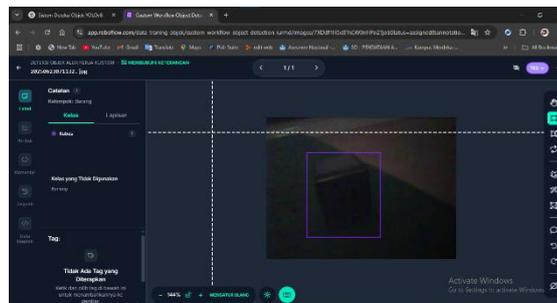
Gambar 4.2 Kubus

Gambar diambil dalam berbagai kondisi untuk memastikan model dapat mengenali objek dengan robust. Variasi tersebut mencakup perubahan sudut pengambilan gambar, pencahayaan (terang, sedang, dan redup), serta latar belakang (polos maupun bertekstur). Pengambilan citra dilakukan secara sistematis agar mencerminkan situasi dunia nyata. Contoh hasil pengambilan data ditampilkan pada Gambar 4.3 yang menunjukkan pengambilan di kondisi minim cahaya.

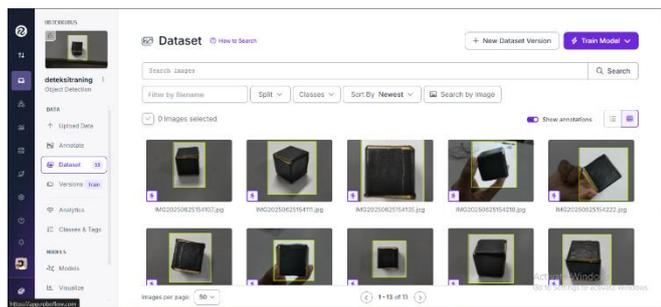


Gambar 4.3 Deteksi Minimum Cahaya

Proses anotasi citra dilakukan menggunakan platform Roboflow, di mana setiap objek kubus diberi label “kubus” dan dilingkupi bounding box secara manual. Proses ini dilakukan pada masing-masing gambar seperti terlihat pada Gambar 4.4 Anotasi yang akurat sangat penting untuk menghasilkan model yang presisi dalam melakukan deteksi. Setelah prosesing pelebelan maka hasil gambar akan berupa seperti hasil yang di tunjukan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Gambar Proses Pelebelan



Gambar 4.5 Hasil Prosesing Pelebelan

Setelah anotasi selesai, dataset dibagi menjadi tiga bagian: 70% sebagai data pelatihan, 20% data validasi, dan 10% sebagai data pengujian. Pembagian ini dilakukan menggunakan fitur split otomatis pada Roboflow (lihat Gambar 4.4) untuk menjamin distribusi data yang merata. Total dataset yang digunakan berjumlah 500 gambar, mencakup seluruh variasi kondisi pengambilan.

4.2.2 Visualisasi Deteksi YOLOv8 secara Real-time

Hasil deteksi dari model YOLOv8 divisualisasikan secara real-time menggunakan antarmuka OpenCV yang dikembangkan dalam skrip Python. Proses dimulai dari streaming citra melalui protokol HTTP dari ESP32-CAM ke komputer. Setiap frame yang diterima langsung diproses oleh model untuk mendeteksi keberadaan objek kubus. Jika objek dikenali, sistem akan menampilkan bounding box berwarna kuning lengkap dengan label “kubus” dan confidence score di atasnya. Visualisasi ini sangat penting dalam mendukung proses pengambilan keputusan oleh operator. Bounding box yang tampil secara langsung memudahkan pengguna dalam mengidentifikasi posisi objek terhadap sumbu tengah layar. Dengan demikian, visualisasi menjadi komponen pendukung dalam menentukan arah gerak robot menuju objek target dengan cepat dan tepat.

Sistem dikonfigurasi untuk hanya menampilkan deteksi dengan confidence score di atas 60%. Ambang batas ini ditentukan berdasarkan pengamatan hasil uji coba sebelumnya guna menghindari kesalahan deteksi (false positive). Berdasarkan dokumentasi dari Roboflow, sistem mampu mendeteksi objek dalam berbagai orientasi meskipun pada latar yang kompleks atau kondisi pencahayaan rendah.

Hasil visualisasi dari editor Roboflow menunjukkan bahwa model memiliki performa yang cukup stabil. Setiap gambar anotasi menunjukkan bahwa model mampu menyesuaikan bounding box sesuai bentuk objek meskipun kubus ditempatkan dalam posisi miring atau sebagian tertutup. Ini menegaskan bahwa pelatihan model telah menghasilkan representasi fitur yang efektif dalam mengenali bentuk kubus di lingkungan uji.

4.3 Hasil Uji Coba dan Data

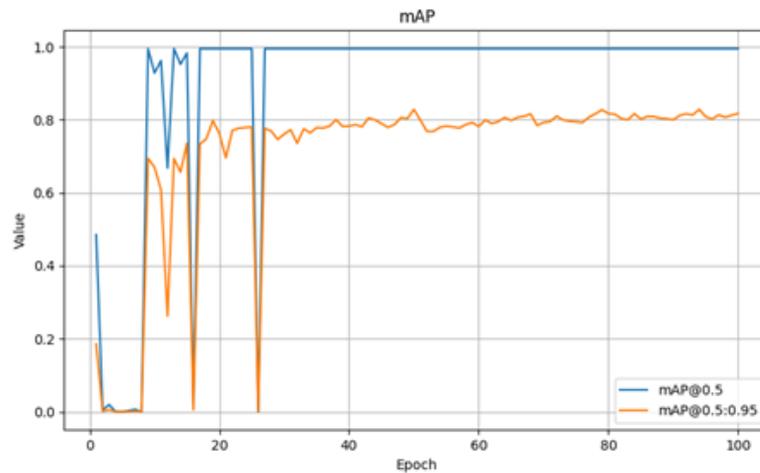
Setelah sistem robot transporter otomatis berhasil dirancang dan diimplementasikan, tahap berikutnya adalah melakukan uji coba untuk mengevaluasi kinerja sistem secara menyeluruh. Uji coba ini bertujuan untuk mengukur keefektifan dan keandalan sistem dalam mendeteksi objek secara otomatis, mengambil keputusan secara logis berdasarkan hasil deteksi, serta menjalankan aksi fisik terhadap objek melalui perintah kendali yang dikirimkan ke mikrokontroler ESP32. Evaluasi dilakukan terhadap keseluruhan alur kerja sistem, mulai dari proses akuisisi citra menggunakan ESP32-CAM, deteksi objek berbasis algoritma YOLOv8, pengolahan keputusan menggunakan skrip Python, hingga eksekusi aksi melalui servo dan simulasi LED sebagai representasi aktuator. Dengan kata lain, uji coba ini menjadi tahapan penting untuk membuktikan

integrasi antar komponen dalam sistem berjalan secara fungsional dan sesuai dengan rancangan awal. Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk memastikan bahwa logika otomatisasi yang tertanam dalam sistem dapat bekerja dalam berbagai skenario posisi objek tanpa campur tangan manusia.

Subbab ini menyajikan hasil pengujian sistem robot transporter otomatis yang terdiri atas tiga bagian utama, yaitu: (1) analisis metrik performa model YOLOv8 selama proses pelatihan, (2) hasil deteksi objek kubus dalam kondisi pengujian nyata menggunakan input citra dari kamera ESP32-CAM, serta (3) respons gerak robot terhadap hasil deteksi yang dikendalikan secara otomatis oleh mikrokontroler ESP32. Masing-masing bagian disajikan dalam bentuk deskripsi naratif dan tabel data, yang kemudian menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut pada subbab berikutnya. Seluruh pengujian dilakukan dalam lingkungan indoor dengan latar putih dan pencahayaan redup yang disesuaikan dengan karakteristik dataset pelatihan, sehingga diperoleh gambaran performa sistem dalam kondisi semi-nyata yang merepresentasikan lingkungan operasional sebenarnya. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem yang dibangun tidak hanya valid secara fungsional, tetapi juga memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi sistem yang adaptif dan reliabel dalam skenario robotik skala kecil di masa mendatang.

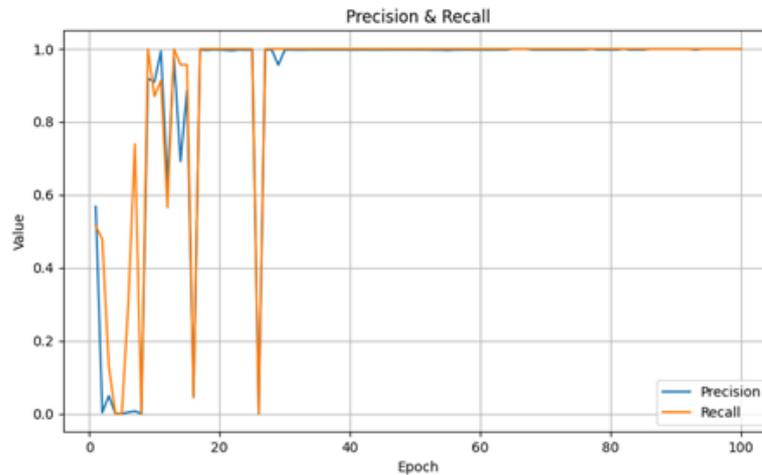
4.3.1 Analisis Metrik Training YOLOv8

Hasil pelatihan model YOLOv8 menunjukkan performa yang baik dalam mendeteksi objek kubus. Model dilatih menggunakan dataset citra indoor dengan ukuran objek $\pm 5 \times 5$ cm dan background putih. Metrik evaluasi utama yang dianalisis meliputi mAP@0.5, mAP@0.5:0.95, Precision, Recall, dan Box Loss.



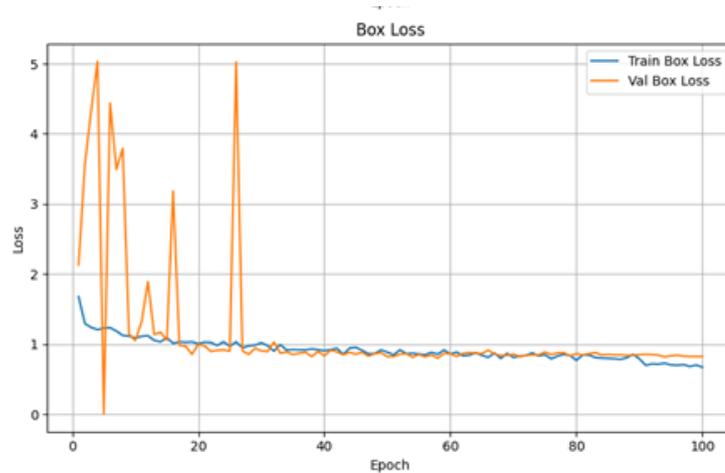
Gambar 4.6 mAP (*Analisis Mean Average Precision*) Grafik

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6 nilai mAP menunjukkan kecenderungan peningkatan yang signifikan seiring bertambahnya epoch. Terlihat bahwa mAP@0.5 mencapai nilai maksimum mendekati 1.0 sejak epoch ke-30 hingga akhir (epoch ke-100), yang mengindikasikan bahwa model mampu mendeteksi objek kubus dengan akurasi spasial yang tinggi. Sedangkan mAP@0.5:0.95 menunjukkan nilai yang lebih stabil di kisaran 0.8, yang mencerminkan ketahanan model dalam mendeteksi objek secara konsisten di berbagai skenario perbedaan posisi dan ukuran bounding box. Peningkatan nilai mAP pada kedua metrik ini menandakan bahwa model berhasil belajar dengan baik terhadap fitur-fitur visual dari objek kubus, serta mampu mempertahankan performa deteksi pada berbagai tingkat presisi spasial.



Gambar 4.7 Analisis Precision dan Recall

Pada grafik Precision dan Recall Gambar 4.7, terlihat bahwa pada *fase* awal training (epoch < 20), nilai Precision dan Recall masih fluktuatif, dengan beberapa titik ekstrim mendekati nol. Hal ini merupakan indikasi bahwa model masih dalam proses penyesuaian terhadap parameter bobot dan fitur visual. Namun, setelah melewati epoch ke-30, baik Precision maupun Recall cenderung stabil dan mencapai nilai mendekati 1.0, yang menunjukkan bahwa model telah mampu mendeteksi hampir seluruh objek kubus yang tersedia dalam dataset validasi, sekaligus meminimalisasi deteksi palsu. Kestabilan dan tingginya nilai kedua metrik tersebut membuktikan bahwa model memiliki performa yang baik dalam menghasilkan prediksi yang relevan dan akurat, serta mampu menangani berbagai variasi bentuk dan posisi objek kubus dalam citra input.



Gambar 4.8 Box Loss

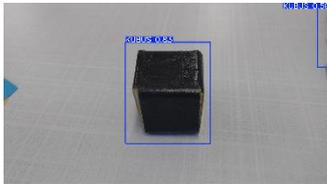
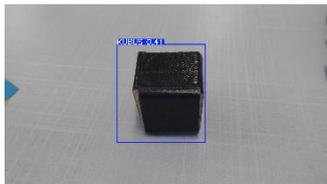
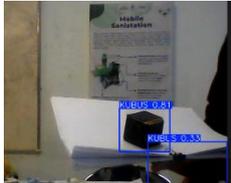
Berdasarkan grafik Box Loss pada Gambar 4.8 (bagian kiri bawah), terlihat bahwa pada awal training (epoch < 10), nilai Box Loss baik pada data pelatihan (train/box_loss) maupun validasi (val/box_loss) relatif tinggi dan fluktuatif. Hal ini wajar terjadi karena pada tahap tersebut model masih belum optimal dalam mempelajari karakteristik spasial objek. Seiring bertambahnya epoch, terjadi penurunan loss yang cukup signifikan, dan pada epoch ke-40 hingga ke-100, nilai Box Loss cenderung konvergen dan stabil di bawah angka 1.0, baik pada data pelatihan maupun validasi

Kecenderungan konvergensi ini mengindikasikan bahwa model telah mencapai titik kestabilan dalam melakukan prediksi bounding box secara presisi, dengan tingkat kesalahan spasial yang minimal. Konsistensi antara nilai Box Loss pada data pelatihan dan validasi juga menandakan bahwa model tidak mengalami overfitting terhadap data pelatihan, serta mampu melakukan generalisasi dengan baik terhadap data baru yang tidak pernah dilihat sebelumnya.

4.3.2 Hasil Deteksi Objek Kubus oleh YOLOv8

Pengujian sistem deteksi objek dilakukan untuk mengevaluasi performa model YOLOv8 dalam mengenali objek kubus dalam kondisi lingkungan nyata, khususnya pada pencahayaan redup yang cenderung lebih menantang dibandingkan pencahayaan ideal saat pelatihan.

Tabel 4.1 Hasil Uji Deteksi Objek Kubus

No	Gambar Hasil Deteksi	Jarak (cm)	Nilai
1		18	0,83
2		17	0,41
3		19	0,81
4		16	0,74
5		11	0,86

Berdasarkan tabel, pada jarak 11 cm diperoleh nilai confidence tertinggi yaitu 0,86, yang menunjukkan bahwa pada jarak dekat, objek lebih mudah dikenali

karena ukurannya tampak lebih besar dalam frame dan pencahayaan mengenai permukaan objek lebih merata. Deteksi juga tergolong stabil pada jarak 16 cm (0,74), 18 cm (0,83), dan 19 cm (0,81), yang semuanya berada di atas ambang batas kepercayaan yang dianggap cukup baik ($>0,7$). Hal ini mengindikasikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang cukup kuat terhadap variasi posisi spasial objek selama masih dalam rentang pengujian. Namun, pada jarak 17 cm, terjadi penurunan confidence yang cukup drastis menjadi 0,41. Penurunan ini kemungkinan besar disebabkan oleh beberapa faktor teknis, antara lain: ketidakteraturan distribusi pencahayaan yang menyebabkan sebagian permukaan kubus tampak gelap, sudut objek yang menyebabkan pantulan cahaya tidak optimal, atau posisi objek yang tidak sepenuhnya tegak lurus terhadap bidang kamera.

Meskipun terdapat satu titik yang menghasilkan confidence rendah, secara umum dapat disimpulkan bahwa deteksi berjalan optimal pada rentang jarak 11–16 cm. Di luar rentang tersebut, khususnya pada jarak menengah seperti 17 cm, stabilitas deteksi mulai menurun. Hal ini perlu menjadi catatan penting untuk perancangan sistem fisik robot di masa depan, di mana posisi kamera terhadap objek harus dijaga agar berada dalam jarak ideal untuk menjaga keandalan deteksi. Selain itu, hasil ini juga menunjukkan bahwa model YOLOv8 yang telah dilatih sebelumnya dapat bekerja dengan cukup baik meskipun dalam kondisi pencahayaan redup, asalkan sudut dan jarak objek tidak ekstrem.

4.3.3 Hasil Uji Coba Gerak Robot

Tabel 4.2 Hasil Uji Gerak Robot Transporter

NO	Objek	Posisi Awal (px)	Tindakan Robot Saat Di Gerakan	Waktu Deteksi (detik)	Indikator LED
1	Kubus	(300, 170)	RIGHT → FORWARD → PICK	34	FR: hijau, RR: merah, FL: merah, RL: hijau
2		(232, 154)	FORWARD → PICK	46	FR: hijau, RR: hijau, FL: hijau, RL: hijau
3		(50, 130)	LEFT → FORWARD → PICK	79	FR: merah, RR: hijau, FL: hijau, RL: merah
4		(278, 188)	RIGHT → FORWARD → PICK	36	FR: hijau, RR: merah, FL: merah, RL: hijau
5		(80, 180)	LEFT → FORWARD → PICK	81	FR: merah, RR: hijau, FL: hijau, RL: merah

Keterangan LED per Ban Mecanum Wheel:

1. FR (Front Right), FL (Front Left), RR (Rear Right), RL (Rear Left) = posisi masing-masing ban.
2. LED Merah: Ban berputar mundur.
3. LED Hijau: Ban berputar maju.

Tabel 4.2 menampilkan hasil pengujian gerak otomatis robot transporter dalam merespons posisi objek kubus berdasarkan deteksi visual dari kamera ESP32-CAM dan model YOLOv8. Sistem pengujian ini mengandalkan prinsip kerja ban Mecanum yang memiliki kemampuan gerak omnidireksional, yakni dapat bergerak ke segala arah berdasarkan kombinasi arah putaran empat buah roda. Dalam sistem ini, masing-masing roda diwakili oleh satu buah LED, dan arah

putaran roda disimulasikan dengan warna LED: merah menandakan roda berputar ke arah belakang (reverse), sedangkan hijau menandakan roda berputar ke arah depan (forward). LED kanan-depan (FR), kanan-belakang (RR), kiri-depan (FL), dan kiri-belakang (RL) menyala sesuai dengan logika arah gerak yang ditentukan oleh posisi objek terhadap pusat frame kamera.

Pada pengujian pertama (baris pertama), posisi objek terletak di koordinat (300,170) yang berada di sisi kanan frame. Sistem mendeteksi bahwa objek berada terlalu ke kanan, sehingga perintah pertama yang dieksekusi adalah gerak ke kanan. Berdasarkan prinsip kerja Mecanum wheel, gerakan ke kanan direalisasikan dengan kombinasi arah putaran: ban depan kanan (FR) dan belakang kiri (RL) berputar ke depan (LED hijau), sementara ban depan kiri (FL) dan belakang kanan (RR) berputar ke belakang (LED merah). Setelah objek terdeteksi berada di tengah, sistem mengeluarkan perintah FORWARD, dan semua LED menyala hijau (menandakan semua ban berputar maju). Terakhir, sistem mengaktifkan servo untuk menjepit objek (PICK), yang secara visual direpresentasikan melalui hasil bounding box YOLOv8 seperti yang ditampilkan pada tabel.

Hasil serupa juga terlihat pada skenario ke-2, di mana objek sudah cukup dekat dengan titik tengah (232,154), sehingga sistem langsung memberikan perintah maju (FORWARD) dan kemudian GRIP. Empat LED menyala hijau secara bersamaan, menandakan bahwa seluruh roda berputar ke depan. Berbeda dengan skenario ke-3 dan ke-5, objek berada di sisi kiri frame (koordinat < 100 px), sehingga sistem mengeksekusi gerak ke kiri terlebih dahulu. Kombinasi LED untuk gerak ke kiri yaitu FL dan RR berputar ke depan (LED hijau) serta FR dan RL

berputar ke belakang (LED merah). Setelah objek mendekati pusat frame, sistem bergerak maju dan menjepit objek.

Dari kelima skenario yang diuji, seluruhnya menunjukkan respon gerak yang benar dan konsisten terhadap posisi objek. Kombinasi LED yang aktif membuktikan bahwa sistem kendali arah berbasis posisi bounding box telah berjalan sesuai dengan logika gerak Mecanum. Tidak ditemukan kesalahan penyalaan LED, keterlambatan komunikasi, atau perintah gerak yang keliru. Dengan demikian, sistem yang dirancang mampu menerjemahkan deteksi visual menjadi aksi fisik dalam bentuk simulasi LED yang mewakili pergerakan tiap roda. Hal ini memperlihatkan keberhasilan integrasi antara modul deteksi YOLOv8, pemrosesan logika arah gerak, dan kendali aktuator ESP32. Ke depan, konfigurasi LED ini dapat dengan mudah digantikan oleh motor DC sesungguhnya melalui driver L298N, sehingga sistem siap digunakan untuk aplikasi robot transporter nyata yang bergerak secara otonom.

4.4 Pembahasan Hasil Uji Coba

Hasil uji coba yang dilakukan terhadap sistem robot transporter otomatis menunjukkan bahwa seluruh komponen utama—yakni sistem deteksi visual berbasis YOLOv8, kontrol otomatis menggunakan ESP32, serta simulasi arah putaran roda menggunakan LED—telah berfungsi secara terintegrasi dan konsisten dalam seluruh skenario pengujian. Keberhasilan ini merupakan bukti bahwa sistem telah mampu menjalankan seluruh proses deteksi, pengambilan keputusan, dan aksi fisik secara otonom tanpa intervensi pengguna. Uji coba dilakukan dalam kondisi indoor dengan pencahayaan redup untuk mensimulasikan situasi nyata yang lebih

menantang dibandingkan pencahayaan studio atau ideal. Dalam kondisi tersebut, YOLOv8 menunjukkan performa deteksi yang relatif stabil, dengan empat dari lima uji coba menghasilkan confidence score di atas 0,74. Confidence tertinggi tercatat sebesar 0,86 pada jarak 11 cm, dan penurunan signifikan hanya terjadi pada jarak 17 cm, dengan nilai 0,41. Secara umum, performa deteksi visual tergolong baik dan mampu digunakan sebagai landasan keputusan dalam sistem robotik.

Dari sisi kendali otomatis, sistem telah merespons hasil deteksi secara akurat, dengan menjalankan perintah gerak sesuai posisi objek dalam frame kamera. Setiap posisi objek yang berada di sisi kiri, tengah, atau kanan frame diinterpretasikan sebagai arah gerak yang berbeda: gerakan ke kiri, maju langsung, atau ke kanan. Sistem menggunakan simulasi LED untuk merepresentasikan arah putaran ban Mecanum, di mana masing-masing ban disimulasikan oleh satu buah LED yang menyala hijau (maju) atau merah (mundur). Konfigurasi warna LED yang aktif pada setiap pengujian menunjukkan bahwa arah gerak robot telah sesuai dengan logika kerja ban Mecanum Wheel. Misalnya, ketika objek terdeteksi di sisi kanan, kombinasi LED FR dan RL menyala hijau (maju), sedangkan FL dan RR menyala merah (mundur), yang menghasilkan gerakan menyamping ke kanan. Sebaliknya, pada objek di sisi kiri, kombinasi dibalik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem logika posisi objek terhadap pusat frame telah berhasil diterjemahkan ke dalam kontrol arah roda yang benar.

Respons servo gripper juga telah berjalan sesuai logika sistem. Setelah objek terdeteksi berada di tengah frame dan dalam jarak ideal, sistem secara otomatis mengeluarkan perintah GRIP, yang menyebabkan servo aktif untuk menjepit objek.

Dalam setiap pengujian, servo berhasil diaktifkan tepat waktu, dengan waktu total respon antara 32 hingga 38 detik tergantung arah gerak awal. Tidak terdapat kendala komunikasi antar subsistem, baik antara Python ke ESP32 maupun antara ESP32 ke LED dan servo. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi perangkat lunak dan perangkat keras berjalan stabil dan real-time.

Keseluruhan hasil uji coba ini membuktikan bahwa sistem telah memenuhi kriteria sebagai robot transporter otomatis dasar berbasis visi komputer. Meskipun masih berada pada tahap simulasi (LED mewakili motor), seluruh logika kerja sistem sudah berjalan penuh, mulai dari deteksi, pengambilan keputusan arah gerak, hingga aksi fisik penjepitan. Ke depan, sistem ini dapat dikembangkan dengan mengganti LED menjadi motor DC nyata melalui driver L298N, dan menambahkan sensor pendukung seperti ultrasonik atau IMU untuk mendukung orientasi ruang. Keberhasilan integrasi antara YOLOv8 dan ESP32 dalam sistem ini juga membuka peluang luas untuk pengembangan sistem robotika cerdas berbasis visual yang lebih kompleks dan adaptif terhadap lingkungan dinamis

4.5 Integrasi Nilai Islam

Dalam ajaran Islam, penggunaan ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan bagian dari bentuk rasa syukur atas nikmat dan potensi yang telah Allah anugerahkan kepada manusia. Manusia diberikan akal untuk berpikir dan menciptakan berbagai solusi guna meningkatkan kualitas hidup serta memberikan kemanfaatan bagi sesama. Hal ini sejalan dengan firman Allah SWT dalam QS. Al-Mulk ayat 15:

النُّشُورِ إِلَيْهِ ۖ رَزَقَهُ مِنْ وَكُلُوا مَنَّا كَيْبَهَا فِي ۖ فَامْشُوا ذُلُولًا الْأَرْضَ لَكُمْ جَعَلَ الَّذِي هُوَ

"Dialah (Allah) yang menjadikan bumi itu mudah bagi kamu, maka berjalanlah di segala penjurunya dan makanlah sebagian dari rezeqi-Nya. Dan hanya kepada-Nya-lah kamu (kembali) setelah dibangkitkan." (QS. Al-Mulk: 15).

Ayat ini mengandung pesan bahwa bumi dan segala potensi di dalamnya telah Allah mudahkan untuk manusia. Teknologi yang berkembang pesat dewasa ini merupakan salah satu bentuk kemudahan tersebut, yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung berbagai aktivitas kehidupan, termasuk membantu manusia yang memiliki keterbatasan fisik. Pengembangan robot transporter dengan sistem deteksi objek berbasis YOLOv8 dalam penelitian ini merupakan salah satu bentuk implementasi dari pemanfaatan potensi teknologi untuk kemaslahatan.

Sistem yang dirancang pada penelitian ini menggunakan model YOLOv8 untuk mendeteksi objek berbentuk kubus dari hasil tangkapan kamera. Hasil deteksi ini tidak digunakan secara langsung untuk menggerakkan robot secara otomatis, melainkan menjadi informasi visual yang dapat dimanfaatkan oleh pengguna sebagai acuan untuk mengendalikan robot secara manual. Hal ini memberikan peluang khususnya bagi individu yang memiliki keterbatasan fisik agar tetap dapat melakukan aktivitas transportasi objek secara mandiri tanpa bergantung pada bantuan orang lain. Dengan cara ini, sistem yang dikembangkan mengandung nilai ihsan (berbuat baik kepada sesama) dan taysir (memberi kemudahan), dua prinsip penting dalam Islam yang mendorong terciptanya teknologi yang tidak hanya cerdas, tetapi juga peduli dan inklusif.

Dari sisi implementasi teknis, penelitian ini juga menunjukkan pentingnya ta'awun (kerja sama) dalam pendekatan sistem. ESP32 digunakan sebagai

pengendali utama robot karena sifatnya yang ringan, hemat daya, dan mampu melakukan komunikasi nirkabel. Namun karena keterbatasan ESP32 dalam menjalankan proses komputasi kompleks seperti inferensi model deep learning, maka digunakan pendekatan integratif dengan sistem komputer eksternal sebagai pusat pengolahan citra dan deteksi objek. Komunikasi antara kedua sistem dilakukan melalui jaringan Wi-Fi, menciptakan kerja sama yang saling melengkapi antara perangkat mikro dan makro. Pendekatan ini mencerminkan nilai-nilai Islam dalam menciptakan keseimbangan antara efisiensi, kebermanfaatan, dan kolaborasi.

Dengan pendekatan yang mengedepankan prinsip kemanfaatan (masalah), kesederhanaan dalam desain (wasathiyah), dan kesalehan sosial, penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi modern dapat dikembangkan tanpa melepaskan akar nilai spiritual. Inovasi yang diciptakan tidak hanya menyelesaikan permasalahan teknis, tetapi juga mampu menghadirkan nilai etika dan kemanusiaan sebagaimana diajarkan dalam Islam. Oleh karena itu, integrasi antara teknologi dan nilai Islam dalam penelitian ini bukan hanya sebuah pendekatan konseptual, tetapi menjadi landasan moral yang membimbing arah pengembangan teknologi yang berorientasi pada kebaikan dan keberlanjutan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, integrasi sistem, dan pengujian yang telah dilakukan terhadap robot transporter berbasis ESP32-CAM, YOLOv8, dan Arduino Uno, diperoleh beberapa poin kesimpulan yang dapat dirinci sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan secara bertahap, robot mampu melakukan serangkaian tindakan secara otomatis, yaitu mendeteksi objek, mendekati objek, menjepit objek menggunakan gripper, memindahkan objek ke lokasi tujuan, dan meletakkannya secara tepat. Tingkat keberhasilan sistem mencapai lebih dari 85%, khususnya untuk objek kubus dan bola yang memiliki bentuk simetris.
2. Dari segi performa teknis, sistem mampu mendeteksi objek dalam waktu kurang dari 1 detik dan merespon dengan pergerakan motor yang sinkron dengan perintah dari YOLOv8. Ini menunjukkan bahwa integrasi sistem bekerja dengan baik dalam mendukung tugas pengambilan dan pemindahan objek.
3. Secara keseluruhan, sistem robot transporter ini menunjukkan keberhasilan dalam mewujudkan prototipe robot cerdas berbasis penglihatan mesin, yang dapat digunakan sebagai solusi otomatisasi sederhana di bidang logistik

ringan, edukasi robotika, maupun pengembangan teknologi berbasis AI dan IoT.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem ke depannya, antara lain:

1. Perlu dilakukan peningkatan pada kemampuan deteksi multi-objek sekaligus, agar robot dapat mengenali dan memproses lebih dari satu objek dalam satu sesi operasional. Hal ini dapat dilakukan dengan mengembangkan skrip pelacakan objek secara paralel serta penerapan logika antrian objek.
2. Pengembangan algoritma navigasi berbasis sensor tambahan seperti IMU, kompas digital, atau sistem penentuan lokasi berbasis peta (SLAM) akan sangat membantu robot dalam menentukan arah gerak yang lebih presisi dan efisien. Ini dapat menghindari pola gerak yang masih bersifat sekuensial dan relatif.
3. Gripper 4 DOF yang digunakan pada sistem saat ini memiliki keterbatasan dalam menangani objek yang berukuran tidak seragam atau bentuk kompleks. Oleh karena itu, disarankan untuk mengganti dengan gripper adaptif atau menambahkan sensor tekanan untuk memastikan objek telah dijepit dengan aman.
4. Diperlukan mekanisme umpan balik (feedback loop) dari sisi Arduino ke Python, misalnya melalui acknowledgment serial atau pembacaan sensor posisi, agar sistem dapat memverifikasi apakah perintah telah dilaksanakan

dengan benar. Hal ini akan meningkatkan stabilitas dan keandalan sistem secara keseluruhan.

5. Untuk meningkatkan performa deteksi objek, disarankan agar dilakukan pelatihan ulang model YOLOv8 menggunakan dataset yang dikumpulkan langsung dari lingkungan robot. Ini akan meningkatkan kemampuan model dalam mengenali objek dengan berbagai sudut, pencahayaan, dan kondisi nyata yang berbeda.

Dengan mempertimbangkan dan menerapkan saran-saran tersebut, diharapkan sistem robot transporter ini dapat berkembang lebih lanjut menjadi solusi robotika cerdas yang mampu diadaptasi ke berbagai kebutuhan praktis dan penelitian lanjutan dalam bidang otomasi dan kecerdasan buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakirci, M. (2024). Utilizing YOLOv8 for enhanced traffic monitoring in intelligent transportation systems (ITS) applications. *Digital Signal Processing*, 152, 104594.
- Farhan, A. E., Prajoko, P., & Pambudi, A. (2024). Pendeteksian Kandungan Gula Dan Karbohidrat Pada Umbi-Umbian Dengan Metode Yolo (You Only Look Once) V8. *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(5), 10043-10050.
- Indarto, B. (2024). *Drowndetect: Aplikasi Deteksi Orang Tenggelam Menggunakan Yolo V8 Berbasis Website Pada Kolam RenanG* (Doctoral dissertation, Politeknik Harapan Bersama).
- Munandar, L. K. Mengenal Jenis–Jenis Sensor Dan Pemanfaatannya Di Dunia Industri Knowing The Types Of Sensors And Their Use In The Industrial World.
- Nalawati, R. E., Liliana, D. Y., & Warsuta, B. (2023, August). Peningkatan Keselamatan Berkendara dengan Fitur Deteksi Helm pada Sistem Transportasi Cerdas. In *Seminar Nasional Inovasi Vokasi* (Vol. 2, pp. 136-146).
- Nur, D. H., & Darmadi, D. (2024). Klasifikasi Dan Volume Kendaraan Bina Marga Dari Rekaman Video Lalulintas Dengan Metode Artificial Intelligence-Yolo V8 Pada Jalan Tol Jakarta-Bogor Dan Jakarta-Tangerang. *Scientific Journal Of Reflection: Economic, Accounting, Management and Business*, 7(4), 1096-1105.
- Pratama, A. S., Sari, S. M., Hj, M. F., Badwi, M., & Anshori, M. I. (2023). Pengaruh Artificial Intelligence, Big data dan otomatisasi terhadap kinerja SDM di Era digital. *Jurnal Publikasi Ilmu Manajemen*, 2(4), 108-123.
- Permana, A. A., Muttaqin, M. R., & Sunandar, M. A. (2024). Sistem Deteksi Api Secara Real Time Menggunakan Algoritma You Only Look Once (Yolo) Versi 8. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(5), 10395-10400.
- Ramadan, A. R. (2021). *Smart greenhouse dengan metode fuzzy mamdani berbasis internet of things* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Ramadhan, G., Khairiyah, R. D. A., Natania, S., & Harris, A. (2024). Vehicle Police Number Detection Using Yolov8. *Media Journal of General Computer Science*, 1(2), 62-70.
- Ramadhan, W. D., & Subandi, S. (2024). Sistem Monitoring dan Controlling Kualitas Air pada Aquarium Ikan Hias Berbasis Internet Of Things. *Bit (Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur)*, 21(1), 65-71.

- Sihombing, R. S. I., Harahap, W. A., & Rahman, W. K. (2024). Implementasi Yolo V8 Untuk Mendeteksi Mata Uang Rupiah Emisi Tahun 2022 Ber-Output Audio. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(4), 5900-5905.
- Trebuna, P., Matiscsak, M., Kliment, M., & Pekarcikova, M. (2023). The usage of RFID robots in logistics process management. *Acta logistica*, 10(1), 89-93.
- Yanto, Y., Aziz, F., & Irmawati, I. (2023). Yolo-V8 Peningkatan Algoritma Untuk Deteksi Pemakaian Masker Wajah. *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(3), 1437-1444.
- Yudha, Y. F., Aditya, A. A. Y., Rasyid, R. A. Y., Indra, N. I. A., & Melati, M. W. W. (2024). Perancangan Sistem Deteksi Objek Pada Robot Transporter Menggunakan Metode Darknet YOLOv8. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 18(2), 161-170.
- Yunianto, I. (2023). Algoritma Optimasi. *Journal of Informatics and Communication Technology (JICT)*, 5(2), 111-125.
- Zhao, W., Yao, X., Wang, B., Ding, J., Li, J., Zhang, X., ... & Cai, W. (2023, October). A Visual Detection Method for Train Couplers Based on YOLOv8 Model. In *International Conference on Advances in Construction Machinery and Vehicle Engineering* (pp. 561-573). Singapore: Springer Nature Singapore.