

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor manufaktur dan logistik saat ini menuntut sistem *material handling* yang mampu bekerja secara efisien, cepat, dan fleksibel untuk mendukung kelancaran proses produksi dan distribusi. Meningkatnya kapasitas produksi serta tuntutan distribusi yang semakin cepat menjadikan proses pemindahan material secara manual kurang optimal, baik dari segi konsistensi waktu operasi maupun aspek keselamatan kerja. Kondisi tersebut mendorong industri untuk menerapkan sistem otomasi sebagai solusi dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional di lingkungan industri [1].

Automated Guided Vehicle (AGV) merupakan sistem transportasi otomatis berbasis komputer yang digunakan untuk mendukung proses pemindahan material secara cepat dan efisien di area industri dan pergudangan. AGV dirancang untuk mendistribusikan material secara berulang dengan tingkat ketelitian yang tinggi, sehingga sesuai untuk diterapkan pada sistem logistik terotomasi dan sistem produksi yang terintegrasi. Keberadaan AGV berperan penting dalam menjaga kelancaran proses operasional industri melalui sistem transportasi material yang terkendali dan stabil [1].

Menurut Cui *et al.* [2], performa AGV sangat bergantung pada sistem navigasi yang diterapkan, terutama pada lingkungan *indoor* yang tidak memungkinkan penggunaan sistem penentuan posisi global seperti *Global Positioning System* (GPS). Dikarenakan GPS hanya efektif digunakan pada lingkungan *outdoor* dan tidak mampu memberikan informasi posisi yang akurat di lingkungan *indoor*. Oleh sebab itu, pengembangan metode navigasi AGV *indoor* yang stabil serta mampu menyesuaikan diri terhadap kondisi operasional menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian robot bergerak [2].

Sistem navigasi AGV dapat diklasifikasikan menjadi navigasi berbasis *track* dan navigasi berbasis *trackless*. Navigasi berbasis *track* memanfaatkan jalur fisik sebagai panduan pergerakan AGV, seperti *magnetic tape*, *embedded wire*, atau *visual line* di lantai. Sistem navigasi *track* memiliki keunggulan dalam hal kestabilan lintasan serta kemudahan implementasi awal karena AGV bergerak mengikuti jalur yang telah ditentukan. Sistem navigasi berbasis *track* memiliki keterbatasan utama berupa rendahnya fleksibilitas terhadap perubahan tata letak lingkungan kerja. Setiap perubahan jalur memerlukan modifikasi fisik pada lantai atau lingkungan operasi, yang berdampak pada peningkatan biaya instalasi, waktu henti produksi, serta kebutuhan perawatan jangka Panjang. Navigasi berbasis *track* kurang sesuai untuk lingkungan industri yang dinamis. Sistem navigasi *trackless* tidak memerlukan jalur fisik permanen dan mengandalkan sensor serta algoritma pemrosesan data untuk menentukan posisi dan arah gerak AGV. Pendekatan ini menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi serta kemudahan penyesuaian terhadap perubahan tata letak lingkungan kerja, di mana barang bisa dengan mudah dan cepat dilakukan perubahan rak, selain itu jalur menjadi tidak kotor (tidak terganggu keindahan estetikanya) dan tidak lagi memerlukan perawatan jalur fisik, namun navigasi *trackless* menuntut perancangan sistem navigasi yang lebih kompleks dibandingkan sistem berbasis *track* [3].

Salah satu metode navigasi *trackless* yang banyak diterapkan pada AGV skala penelitian maupun industri kecil hingga menengah adalah navigasi berbasis visi menggunakan kamera. Pada sistem ini, *marker* visual seperti *fiducial marker* atau *ArUco marker* dimanfaatkan sebagai referensi untuk melakukan estimasi posisi dan orientasi AGV terhadap lingkungan sekitarnya. Sistem navigasi AGV berbasis kamera dan *marker* mampu beroperasi secara real time dengan biaya implementasi yang relatif rendah [4].

Sensor ultrasonik banyak dimanfaatkan pada sistem navigasi AGV sebagai komponen pendukung untuk mendeteksi rintangan pada jarak dekat dan mencegah terjadinya tabrakan selama robot beroperasi. Sensor ini dipilih karena kemudahan integrasi dengan sistem kontrol berbasis mikrokontroler, konsumsi daya yang

rendah, serta biaya implementasi yang lebih rendah dibandingkan sensor jarak lainnya. Penggunaan beberapa sensor ultrasonik yang diproses secara real time mampu menyediakan informasi jarak yang konsisten untuk mendukung fungsi *obstacle detection* pada robot bergerak dan kendaraan tanpa awak *indoor* [5].

Dalam implementasinya, sensor ultrasonik umumnya tidak digunakan sebagai sumber utama penentuan posisi absolut, melainkan berperan sebagai lapisan keselamatan yang melengkapi sistem navigasi utama. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan konsistensi kinerja sistem dan keselamatan pergerakan AGV, khususnya pada lingkungan *indoor* yang dinamis. Selain itu, integrasi sensor ultrasonik dengan algoritma pemrosesan data terbukti mampu meningkatkan konsistensi kinerja sistem navigasi dalam menghadapi rintangan yang muncul secara tidak terduga [6].

Dalam tugas akhir ini, penulis merancang sistem AGV dengan judul Rancang Bangun *Automated Guided Vehicle (AGV) Trackless* Berbasis *Vision* dengan Deteksi Objek YOLOv8 dan Marker ArUco. Penulis berkolaborasi dengan Akbar Novrizi yang dalam tugas akhirnya membahas mengenai sistem *charging* dan encoder dan Fatoni Nur Rizki yang membahas mengenai sistem berat, PID, dan IMU AGV. AGV yang dirancang dilengkapi dengan navigasi *trackless* berbasis visi menggunakan kamera dengan ArUco marker sebagai referensi estimasi posisi dan orientasi robot. Penelitian yang dilakukan oleh Pivoňka *et al.* [4] dengan judul *Fiducial Marker-Based Monocular Localization for Autonomous Docking* menunjukkan bahwa sistem lokalisasi berbasis fiducial marker menggunakan kamera monokular mampu menghasilkan estimasi pose dengan struktur algoritma yang lebih sederhana dan kebutuhan komputasi yang lebih ringan dibandingkan dengan sistem navigasi berbasis pemetaan *Simultan Localization and Mapping* (SLAM). Sistem keselamatan navigasi AGV dilengkapi dengan sensor ultrasonik yang berfungsi sebagai sistem deteksi rintangan jarak dekat. Penelitian yang dilakukan oleh Strässer *et al.* [5] dengan judul *Collision Avoidance Safety Filter for an Autonomous E-Scooter using Ultrasonics Sensor* menunjukkan bahwa penggunaan sensor ultrasonik sebagai *safety filter* yang membatasi kecepatan

pergerakan AGV ketika terdeteksi jarak yang tidak aman, sehingga mencegah terjadinya tabrakan. Selain sistem navigasi dan keselamatan, AGV juga dilengkapi dengan sistem deteksi objek menggunakan model YOLOv8n untuk mengenali keberadaan rintangan di area lintasan. Penggunaan YOLOv8n dipilih karena merupakan varian ringan dari keluarga YOLOv8 yang mampu melakukan deteksi objek secara real time dengan kebutuhan komputasi yang relatif rendah sehingga sesuai untuk diterapkan pada perangkat *edge computing* seperti Raspberry Pi. Penelitian yang dilakukan oleh Syed *et al.* [7] dengan judul *Definition of a Reference Standard for Performance Evaluation of Autonomous Vehicles Real time Obstacle Detection and Distance Estimation in Complex Environments* menunjukkan bahwa model tersebut mampu melakukan deteksi objek secara real time dengan tingkat akurasi yang baik sehingga mendukung proses persepsi lingkungan (*environment perception*) pada sistem navigasi otonom.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana cara kerja sistem navigasi AGV berbasis *landmark* visual ArUco dalam menggunakan pose marker relatif terhadap frame kamera sebagai referensi navigasi serta mencapai titik tujuan secara otonom pada lingkungan *warehouse indoor* tanpa jalur pemandu kontinu?
2. Bagaimana kemampuan sistem AGV *trackless* dalam mendeteksi dan merespons rintangan diam menggunakan YOLOv8 dan sensor ultrasonik selama proses navigasi menuju titik tujuan?
3. Bagaimana tingkat keberhasilan sistem AGV *trackless* dalam mencapai titik tujuan berdasarkan informasi marker ArUco dan logika navigasi yang diterapkan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, dapat diuraikan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisis kinerja sistem navigasi AGV *trackless* berbasis *landmark* visual ArUco dalam menggunakan pose marker relatif terhadap frame kamera sebagai referensi navigasi serta mencapai titik tujuan secara otonom pada lingkungan *warehouse indoor* tanpa jalur pemandu kontinu.
2. Mengevaluasi kemampuan sistem AGV dalam mendeteksi dan merespons rintangan diam menggunakan YOLOv8 dan sensor ultrasonik selama proses navigasi menuju titik tujuan.
3. Mengevaluasi tingkat keberhasilan sistem AGV *trackless* dalam mencapai titik tujuan berdasarkan informasi marker ArUco dan logika navigasi yang diterapkan.

1.4 Manfaat

Penelitian yang dilakukan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi akademis berupa referensi penerapan sistem navigasi AGV *trackless* berbasis *landmark* visual yang beroperasi tanpa jalur pemandu kontinu pada lingkungan *warehouse indoor*.
2. Menambah wawasan mengenai integrasi sistem navigasi berbasis visi komputer dengan sensor ultrasonik sebagai sistem deteksi dan penghindaran rintangan pada AGV.
3. Menjadi acuan awal dalam pengembangan sistem AGV dalam industri skala kecil hingga menengah yang menekankan fleksibilitas navigasi dan keselamatan operasional.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan memiliki beberapa batasan masalah, hal tersebut agar penelitian memiliki fokus dan tujuan yang baik. Batasan masalah tersebut sebagai berikut:

1. Penelitian ini bersifat kelompok, pada penelitian ini hanya berfokus pada sistem navigasi AGV *trackless*.
2. Pengujian dilakukan pada lingkungan *indoor* dengan kondisi permukaan lantai datar dan pencahayaan terkontrol.

3. Deteksi objek menggunakan YOLOv8n dibatasi pada dua kelas objek, yaitu *human* dan *box*, yang digunakan sebagai informasi keberadaan rintangan selama proses navigasi.
4. Sistem penghindaran rintangan dibatasi pada rintangan diam dengan *obstacle human* dan *box* tidak bergerak di lingkungan warehouse tanpa mempertimbangkan rintangan bergerak.
5. Marker ArUco digunakan sebagai *landmark* visual dengan posisi pemasangan tetap, dengan kemiringan terhadap kamera dibatasi hingga 45° selama proses navigasi.
6. Sistem navigasi tidak membahas optimasi lintasan global (*global path planning*), melainkan difokuskan pada pencapaian titik tujuan berdasarkan *landmark* marker ArUco.
7. Perancangan dan analisis detail sistem penggerak dan baterai tidak menjadi fokus penelitian dan diasumsikan mampu merealisasikan sinyal kendali yang dihasilkan oleh sistem navigasi.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Laporan Tugas Akhir ini memiliki sistematika penulisan agar tercipta susunan yang baik dan rapi, sistematika penulisan beserta pembahasannya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat tugas akhir, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II DASAR TEORI

Berisikan mengenai teori - teori dasar yang mendukung pada topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang diagram blok sistem, gambar 3D, komponen-komponen yang dibutuhkan pada perancangan alat, membahas bagaimana sistem berjalan, membahas spesifikasi sistem dan teknik fabrikasinya.

BAB IV

Berisikan hasil pengujian sensor ultrasonik, tcr5000, pengujian ArUco marker, *class yolov8n*, dan data pengujian AGV beserta analisisnya.

BAB V

Berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian terdapat referensi penulisan serta sumber yang dikutip oleh penulis.

LAMPIRAN

Pada bagian ini berisi hal-hal sisipan dan keterangan oleh penulis yang berisikan tentang apa yang penulis tulis.