

**SKRIPSI**  
**PERANCANGAN SISTEM NAVIGASI DALAM**  
**RUANGAN TERTUTUP PADA *AUTOMATED GUIDED***  
***VEHICLE* (AGV) BERBASIS SENSOR LIDAR DAN**  
***ODOMETRY***



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada**

**Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Universitas Sriwijaya**

**Oleh :**

**ROSIDI**

**03041281924062**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PERANCANGAN SISTEM NAVIGASI DALAM RUANGAN TERTUTUP**  
**PADA *AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)* BERBASIS SENSOR**  
**LIDAR DAN *ODOMETRY***



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada**  
**Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh :

**ROSIDI**

**03041281924062**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU**

**NIP. 197108141999031005**

**Indralaya, 25 Juli 2023**

**Menyetujui,**  
**Pembimbing Utama**

**Dr.Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM**

**NIP. 19840730200812200**

## HALAMAN PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan :  \_\_\_\_\_

Pembimbing Utama : Dr.Eng. Ir. Suci Dwijayanti, S.T., M.S., IPM

Tanggal :25/Juli/2023

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Rosidi  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041281924062  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan *iThenticate/Turnitin* : 7%

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Perancangan Sistem Navigasi Dalam Ruangan Tertutup pada *Automated Guided Vehicle* (AGV) Berbasis Sensor Lidar dan *Odometry*” merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, 25 Juli 2023

Yang menyatakan,



Rosidi

NIM. 03041281924062

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rosidi  
NIM : 0304128924062  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PERANCANGAN SISTEM NAVIGASI DALAM RUANGAN TERTUTUP  
PADA *AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)* BERBASIS SENSOR  
LIDAR DAN *ODOMETRY***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Palembang, 2023

Pada tanggal : 22 Juli 2023



Rosidi

NIM. 03041281924062

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah ﷻ yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad ﷺ, keluarga dan para sahabatnya. Berkat rahmat dan ridho Allah ﷻ, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Perancangan Sistem Navigasi Dalam Ruang Tertutu ppada *Automated Guided Vehicle* (AGV) Berbasis Sensor Lidar dan *Odometry*”.

Skripsi ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua, saudara serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa selama masa studi.
2. Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. selaku pembimbing utama.
3. Bapak Dr. Syamsuri Zaini S.T., M.M. selaku dosen pembimbing akademik.
4. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T. selaku dosen pencetus dan pengembang ide proyek tugas akhir ini.
5. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. selaku ketua jurusan, serta dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
6. Darryl Prasanna, Muhammad Irsyad Razan dan Raden Muhammad Ubaidillah sebagai teman satu tim dalam proyek *AGV and Swarm Robot*.
7. Teman-teman seperjuangan grup *Ashabul Jannah Abie*, Amaly, Dimsyiar, Finan, Gono, Ishran dan Javen.
8. Teman-teman Klub Robotika Unsri yang selalu menjadi rumah kedua dan selalu menjadi tempat untuk mengisi hari-hari yang sangat produktif dan menyenangkan.
9. Ilham Pratama, Rizky Edly, Yudistira Ananda dan seluruh adik-adik divisi KRAI dan KRTMI yang saya sayangi dan akan melanjutkan perjuangan.
10. Teman-teman anggota Camp Ogan yang selalu menyediakan tempat untuk penulis mengerjakan skripsi tugas akhir ini dan selalu menjadi tempat yang menyenangkan.

11. Dan pihak-pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan wawasan yang lebih luas kepada pembaca. Oleh karena itu, kritik, masukan dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar dapat menjadi evaluasi yang baik dan berguna untuk perbaikan ke depan.

## ABSTRAK

### PERANCANGAN SISTEM NAVIGASI DALAM RUANGAN TERTUTUP PADA *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* (AGV) BERBASIS SENSOR LIDAR DAN *ODOMETRY*

(Rosidi, 03041281924062, 2023, 48 Halaman)

---

*Automated Guided Vehicle* dapat digunakan pada industri manufaktur. Dalam melakukan fungsinya, AGV memerlukan sistem navigasi otonom yang terdiri dari tiga komponen penting berupa *self-localization*, *map building* serta *path planning*. Namun, penelitian terdahulu tidak mempertimbangkan ketiga komponen tersebut. Sehingga, pada penelitian ini dirancang sistem navigasi pada robot AGV menggunakan peta yang dibangun oleh *Gmapping* SLAM, menggunakan algoritma AMCL sebagai *self-localization*, dan *path planning* yang ditentukan oleh *A-Star Algorithm* dengan menggunakan sensor LiDAR dan *odometry*. Pengujian dilakukan secara simulasi menggunakan *software* Gazebo dan secara *real* menggunakan prototipe AGV yang diujikan pada ruangan yang merepresentasikan pabrik manufaktur. Sistem navigasi yang telah dibuat pada penelitian ini telah memenuhi kompetensi dasar navigasi robot, yaitu *self-localization*, pemetaan peta, dan perencanaan jalur, dimana sistem navigasi AGV pada penelitian ini dibuat dengan *Gmapping* SLAM sebagai algoritma *map building*, menggunakan *Adaptive Monte Carlo Localization* (AMCL) sebagai algoritma *self-localization*, *A-Star* sebagai *global planner* serta *Dynamic Window Approach* (DWA) sebagai *local planner*. Sistem navigasi AGV yang dibuat mampu melakukan pergerakan otomatis dengan menentukan titik-titik tujuan dan dapat mencapai tujuan dalam waktu 10 detik. Terdapat potensi untuk meningkatkan akurasi dan performa sistem navigasi dengan penyesuaian parameter dan kalibrasi yang lebih baik pada sensor dan algoritma yang digunakan.

**Kata Kunci:** Robot AGV, Gazebo, simulasi, navigasi, pemetaan, *Gmapping*, AMCL, *A-Star*, *DWA Planner*.



## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF INDOOR NAVIGATION SYSTEM FOR AN AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV) BASED ON LIDAR AND ODOMETRY**

(Rosidi, 03041281924062, 2023, 48 Pages)

---

*Automated Guided Vehicles (AGVs) can be used in the manufacturing industry. In performing their functions, AGVs require an autonomous navigation system consisting of three essential components: self-localization, map building, and path planning. However, previous research did not consider all three of these components. Therefore, in this study, a navigation system for AGV robots is designed using a map built by Gmapping SLAM, employing the AMCL algorithm for self-localization, and path planning determined by the A-Star Algorithm, with the use of LiDAR and odometry sensors. Testing is conducted both in simulation using the Gazebo software and in real scenarios using a prototype AGV, tested in a room representing a manufacturing plant. The navigation system developed in this research fulfills the basic competencies of robot navigation, namely self-localization, map building, and path planning. The AGV navigation system in this study is created with Gmapping SLAM as the map building algorithm, using Adaptive Monte Carlo Localization (AMCL) for self-localization, A-Star as the global planner, and Dynamic Window Approach (DWA) as the local planner. The developed AGV navigation system is capable of autonomous movement, determining destination points, and reaching the destinations within 10 seconds. There is potential to enhance the accuracy and performance of the navigation system by adjusting parameters and improving calibration on the used sensors and algorithms.*

**Keywords:** *Automated Guided Vehicle (AGV), Gazebo, simulation, navigation, mapping, Gmapping, AMCL, A-Star, DWA Planner.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
BAB I.....	
PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Tujuan.....	3
1.4    Batasan Masalah.....	4
1.5    Keaslian Penelitian .....	4
BAB II .....	
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 <i>State Of the Art</i> .....	6
2.2    AGV .....	8
2.3    Navigasi Robot.....	9
2.4 <i>Gmapping</i> SLAM .....	10
2.5    ROS <i>Adaptive Monte Carlo Localization</i> (AMCL) .....	12
2.6    Algoritma A-Star.....	16
2.7 <i>Dynamic Window Approach Planner</i> (DWA Planner).....	16
BAB III.....	
METODE PENELITIAN .....	17
3.1    Alur Penelitian.....	17
3.2    Studi Literatur.....	18

3.3	Desain Robot AGV.....	18
3.4	Perancangan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> .....	19
3.4.1	RPLIDAR A3 .....	19
3.4.2	<i>Rotary Encoder</i> .....	20
3.4.3	<i>Inertial Measurement Unit</i> ((IMU).....	20
3.4.4	Raspberry Pi 4.....	21
3.4.5	Arduino Mega 2560.....	22
3.4.6	Arduino Uno .....	22
3.4.7	Skematik <i>Wiring Hardware</i> .....	23
3.5	Perancangan Sistem.....	23
3.6	Pengujian Sistem Navigasi.....	26
BAB IV.....		
HASIL DAN PEMBAHASAN .....		27
4.1	Simulasi Robot AGV Gazebo ROS.....	27
4.1.1	<i>Unified Robot Description Format</i> (URDF).....	27
4.1.2	<i>World Gazebo</i> .....	28
4.1.3	Simulasi Gmapping SLAM .....	29
4.1.4	Simulasi Navigasi Robot AGV .....	30
4.2	Pembuatan Robot AGV.....	34
4.3	Data Sensor dan Motor .....	34
4.4	AGV Gmapping SLAM .....	36
4.4.1	Hasil Pengujian AGV Gmapping SLAM .....	36
4.5	Sistem Navigasi AGV Robot.....	39
4.5.1	<i>Adaptive Monte Carlo Localization</i> (AMCL) .....	40
4.5.2	<i>Path Planning Algorithm</i> .....	41
4.6	Pengujian Sistem Navigasi.....	43
BAB V .....		
KESIMPULAN DAN SARAN .....		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran .....	48
DAFTAR PUSTAKA .....		
LAMPIRAN.....		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Output Algoritme Geometric A-Star [12] .....	7
Gambar 2. 2 Contoh Path yang Optimal pada G4-grid [13] .....	7
Gambar 2. 3 Peta yang Digunakan pada Simulasi (a) dengan Hasil Pemetaan dari HectorSLAM (b), Gmapping (c) dan KartoSLAM (d) [14] .....	8
Gambar 2. 4 Proses Navigasi Otomatis Robot. (a) Posisi awal; (b) Robot bergerak ke posisi tujuan; (c) Robot mencapai titik yang dituju. [4].....	8
Gambar 2. 5 Robot AGV dari Fetch Robotics Inc, Amerika Serikat [1].....	9
Gambar 2. 6 Proses GmappingSLAM [17].....	11
Gambar 2. 7 Algoritma KLD-sampling [20].....	13
Gambar 2. 8 Flowchart Algoritma AMCL .....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	17
Gambar 3. 2 Desain 3D Robot AGV .....	18
Gambar 3. 3 Desain 2D dan Dimensi AGV .....	19
Gambar 3. 4 RPLIDAR A3 .....	20
Gambar 3. 5 Rotary Encoder PG45.....	20
Gambar 3. 6 MPU6050 .....	21
Gambar 3.7 Raspberry Pi 4 .....	22
Gambar 3.8 Arduino Mega 2560 .....	22
Gambar 3.9 Arduino Uno.....	23
Gambar 3. 10 Skematik Wiring Hardware AGV .....	23
Gambar 3. 11 Proses Penentuan Map Terbaik dari Hasil Gmapping Menggunakan Mean Absolute Error (MAE) .....	24
Gambar 3. 12 Diagram Alur Sistem Navigasi .....	25
Gambar 3. 13 Sketsa 2D Gedung I Fakultas Teknik.....	26
Gambar 4. 1 Hasil URDF Robot AGV pada Gazebo.....	28
Gambar 4. 2 World Gedung I Fakultas Teknik.....	29
Gambar 4. 3 Proses Gmapping SLAM. (a) Peta yang Dihasilkan Simulasi Gmapping pada Rviz; (b) Posisi Robot pada Gazebo.....	30

Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Sistem Navigasi AGV. (a) Titik Mulai; (b) Titik Target. ....	33
Gambar 4. 5 Osilasi pada Proses Heading Navigasi Simulasi. ....	34
Gambar 4. 6 Hasil Robot AGV .....	34
Gambar 4. 7 Perhitungan Odometry Berdasarkan Rotary Encoder .....	35
Gambar 4. 8 Penyusunan Tempat Pengujian (Ruang Kelas I4).....	36
Gambar 4. 9 Hasil Eksperimen 1 Gmapping SLAM. (a) Pemetaan di I3. (b) Pemetaan di I4.....	37
Gambar 4. 10 Hasil Eksperimen 2 Gmapping SLAM .....	38
Gambar 4. 11 Hasil Eksperimen 3 Gmapping SLAM .....	39
Gambar 4. 12 (a) Pose Asli Robot dan (b) Hasil Pose AMCL .....	41
Gambar 4. 13 Noise AMCL pada Navigasi. (a) Proses Gerak AGV. (b) Titik Target. ....	41
Gambar 4. 14 Perpindahan Robot AGV dari I4 ke Koridor (Rviz) (a) Titik awal dan Hasil Path Planning. (b) Titik target.....	44
Gambar 4. 15 Perpindahan Robot AGV dari I4 ke Koridor (Real). (a) Titik awal. (b) Titik target. ....	44
Gambar 4. 16 Hasil Navigasi Robot AGV Melewati Obstacle Kotak (Real). (a) Titik Awal. (b) Titik Target. ....	45
Gambar 4. 17 Hasil Mapping dan Navigasi Melewati Obstacle (Rviz). (a) Titik Awal. (b) Titik Target. ....	45
Gambar 4. 18 AGV Menghindari Kaki Manusia. (a) Robot Mendeteksi Kaki. (b) Kaki Diturunkan. (c) Robot Berjalan Setelah Kaki Diturunkan. ....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter dan Nilai Bawaan ROS AMCL package [7].....	13
Tabel 4. 1 Konfigurasi Gmapping Simulasi Gazebo .....	29
Tabel 4. 2 Konfigurasi Parameter AMCL.....	30
Tabel 4. 3 Costmap Common Params Simulasi untuk A-star.....	31
Tabel 4. 4 Konfigurasi Parameter DWA Planner.....	31
Tabel 4. 5 Konfigurasi Parameter pada Eksperimen 1 Gmapping AGV .....	37
Tabel 4. 6 Konfigurasi Percobaan 3 Gmapping AGV .....	38
Tabel 4. 7 Konfigurasi Parameter AMCL.....	40
Tabel 4. 8 Konfigurasi Costmap Common Params.....	42
Tabel 4. 9 Konfigurasi DWA Planner.....	42

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu teknologi yang telah membantu perusahaan manufaktur ialah *Automated Guided Vehicle* (AGV) yang merupakan salah satu jenis robot beroda yang dapat berfungsi untuk memindahkan barang pada proses industri. AGV pertama kali diperkenalkan oleh Barret Electronics di Northbrook, Amerika Serikat pada tahun 1953. Sampai saat ini, AGV telah digunakan secara ekstensif untuk meningkatkan efisiensi pada tugas intralogistik dan *material handling* pada lingkungan kerja industri [1].

Dalam melakukan pekerjaannya, AGV memerlukan sistem navigasi untuk melakukan perpindahan secara otomatis. Tiga kompetensi dasar yang menjadi syarat navigasi pada robot adalah *map building* atau *map interpretation*, *self-localization*, dan *path planning* [2].

*Map building* adalah proses pemetaan suatu ruangan yang akan menjadi tempat AGV beroperasi dan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan proses pemetaan ini adalah *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) yang melakukan proses lokalisasi dan pemetaan secara simultan dengan cara menelusuri area secara otomatis dan menghasilkan sebuah peta sebagai keluarannya [3]. Metode SLAM berbasis laser sejauh ini diakui sebagai metode yang paling stabil dan paling banyak digunakan untuk melakukan pemetaan dalam ruangan (*indoor*). Ada beberapa jenis algoritma SLAM berbasis *Light Detection and Ranging* (LIDAR) yang bisa digunakan, seperti HectorSLAM, KartoSLAM, dan Gmapping SLAM [4].

Syarat navigasi selanjutnya adalah *self-localization* yang merupakan kemampuan robot untuk mengetahui atau memperkirakan posisinya sendiri terhadap ruangan tempatnya beroperasi. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan lokasi dari robot adalah dengan menggunakan *Radio Frequency Identification* (RFID) [5], kode batang [6], serta memperhitungkan posisi berbasis sensor LIDAR, dan *odometry* robot [7]–[9]. Dari ketiga metode, *self-localization* berbasis LIDAR dan *odometry* menjadi yang paling stabil dan paling banyak digunakan dalam navigasi pada ruangan

tertutup. Beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk melakukan proses lokalisasi berbasis sensor LIDAR dan *odometry* antara lain adalah *Adaptive Monte Carlo Localization* (AMCL), *Extended Kalman Filter Localization* (EKF-Localization), dan *Markov Localization* [10].

Syarat terakhir dari navigasi adalah *path planning* yang merupakan proses menemukan jalur terbaik dalam navigasi untuk memastikan AGV memiliki arah yang efektif dan efisien. Proses ini dapat berjalan ketika AGV dapat melakukan *self-localization* terhadap ruangan. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam menyelesaikannya seperti algoritma A-star, D-Star, dan Dijkstra [11].

Pada penelitian terdahulu telah dilakukan investigasi sistem navigasi yang diterapkan pada AGV, seperti Morandin dkk [7] yang menganalisis proses *tuning parameters* dari AMCL. Yilmaz dan Hakan [8] membuat analisis dan membandingkan AMCL dengan Kalman filter. Sedangkan, Hanten dkk [9] membahas penggunaan metode AMCL dalam melakukan *localization* pada AGV dengan cara yang berbeda, yaitu menggunakan peta dari *Computer Aided Design* (CAD). Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Zhou Peipei dkk [12] hanya membahas *path planning* dengan melakukan simulasi pada pelabuhan virtual yang dibuat menggunakan *grid map* secara manual. Adel Ammar dkk [13] juga membahas *path planning* secara khusus dengan membandingkan algoritma A-Star dan Dijkstra yang telah dimodifikasi dalam melakukan *path planning*. Penelitian yang membahas secara khusus tentang SLAM juga telah dilakukan pada beberapa penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Joao Machado Santos dkk [14] dan Zhang Xuexi dkk [15]. Kedua penelitian tersebut memiliki persamaan, yaitu membandingkan algoritma SLAM dan kemudian membandingkan peta yang didapatkan dari masing-masing SLAM namun tidak mencoba sistem navigasi pada peta-peta tersebut. Penelitian tentang sistem navigasi pada AGV sendiri telah dilakukan oleh Jianxin Ren dkk [4]. Namun, penelitian mereka lebih berfokus pada *chassis* robot yang memperhitungkan *odometry* pada proses lokalisasi. Penelitian tersebut hanya membahas *map building* dan *path planning* secara ringkas.



Dari penelitian-penelitian terdahulu tersebut, belum ada yang membahas pengaruh dari ketiga kompetensi dasar dalam sistem navigasi pada AGV. Meskipun perancangan sistem navigasi AGV pada penelitian-penelitian tersebut dibangun dengan ketiganya, pembahasan terhadap tiga kompetensi dasar navigasi pada AGV belum dilakukan secara maksimal. Sehingga, pada penelitian ini dikembangkan sistem navigasi AGV dengan mempertimbangkan ketiga syarat utama navigasi. Penelitian ini menggunakan *gmapping* sebagai algoritma *map building* karena *gmapping* merupakan algoritma yang paling stabil dan menghasilkan efek pemetaan yang baik dalam ruangan yang luas dan koridor yang panjang[14], [15]. Sedangkan untuk proses *self-localization* digunakan AMCL[8], dan A-Star [13] digunakan pada proses *path planning* sebagai penentu jalur terbaik secara *global* terhadap ruangan. Penelitian ini juga membahas proses *tuning* dan hasil dari sistem navigasi menggunakan ROS yang diterapkan pada AGV.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam melakukan perpindahan di lingkungan ruangan tertutup, robot AGV memerlukan sistem navigasi yang baik untuk mencapai titik yang dituju. Namun, penelitian terdahulu tidak mempertimbangkan ketiga aspek penting dalam sistem navigasi yang meliputi *map building*, *self-localization*, dan *path planning* padahal ketiga aspek tersebut sangat diperlukan oleh AGV untuk dapat melakukan perpindahan otomatis secara optimal. Sehingga, pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem navigasi AGV dengan membuat peta 2D ruangan menggunakan *Gmapping* SLAM, lalu peta yang dihasilkan dijadikan acuan untuk melakukan perpindahan di dalam ruangan menggunakan AMCL sebagai algoritma *self-localization* dan *A-Star Algorithm* untuk memilih rute terbaik secara global.

## 1.3 Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang sistem navigasi pada robot AGV menggunakan peta yang dibangun oleh *Gmapping* SLAM, menggunakan algoritma AMCL sebagai *self-localization*, dan *path planning* yang ditentukan

oleh *A-Star Algorithm*. Sistem navigasi yang dibuat kemudian diuji untuk mengetahui performa dari sistem navigasi.

#### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak keluar dari pembahasannya maka penelitian ini memiliki beberapa batasan, yaitu:

1. Sistem navigasi ini menggunakan sensor LIDAR A3, *rotary encoder*, dan *Inertial Measurement Unit* (IMU).
2. Raspberry Pi 4 digunakan sebagai pusat kontrol sistem navigasi.
3. Arduino Mega sebagai kontrol penggerak.
4. Arduino Uno sebagai pengolah data dari *rotary encoder*.
5. Lokasi pengujian dilakukan dalam ruangan tertutup, dalam hal ini adalah ruang kelas Gedung I Fakultas Teknik Kampus Palembang.

#### 1.5 Keaslian Penelitian

Ada beberapa penelitian-penelitian terdahulu yang telah merancang sistem navigasi pada AGV. Morandin dkk [7] menganalisis proses *tuning parameters* dari AMCL, dimana nilai-nilai *default* pada parameter diganti dengan nilai baru pada AMCL. Penelitian ini menjelaskan secara ringkas pengaruh dari parameter-parameter tersebut dan menyajikan data *trajectory* yang sangat rinci. Namun, [7] hanya mencoba satu nilai untuk masing-masing parameter yang dibandingkan dengan nilai *default*.

Penelitian lain dilakukan Yilmaz dan Hakan [8] juga membahas tentang algoritma AMCL yang penerapannya pada AGV, kemudian membandingkan hasil lokalisasi dan penyelesaian masalah lokalisasi dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan Kalman filter. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa AMCL lebih baik. Namun, penelitian [8] tidak membahas secara detil tentang proses *tuning* pada AMCL.

Penelitian Hanten dkk [9] membahas AMCL sebagai algoritma *localization* pada AGV dengan cara menggunakan peta dari CAD. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa akurasi yang didapatkan lebih tinggi, namun proses komputasi yang berat menjadi kelemahan pada metode ini.

Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Zhou Peipei dkk [12] membahas *path planning* dengan melakukan simulasi pada pelabuhan *virtual* yang dibuat menggunakan *grid map* secara manual. Penelitian ini membandingkan beberapa algoritma, dengan hasil algoritma *Geometric A-star* adalah algoritma yang paling efisien. Namun, [12] belum mencoba secara langsung *path planning* pada AGV atau *mobile robot*.

Adel Ammar dkk [13] dalam penelitiannya membahas perbandingan antara algoritma *A-Star* dan Dijkstra yang telah dimodifikasi dalam melakukan *path planning*. Penelitian ini membahas secara lengkap perbandingan hasil kedua algoritma dengan berbagai simulasi.

Penelitian yang membahas secara khusus tentang SLAM juga telah dilakukan pada beberapa penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Joao Machado Santos dkk [14] dan Zhang Xuexi dkk [15]. Keduanya membandingkan beberapa algoritma SLAM dalam menghasilkan peta (*map building*). Perbandingan pada [14] dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung nilai *error* dan kualitatif dengan membandingkan gambar peta yang dihasilkan masing-masing algoritma. Namun, penelitian ini hanya dilakukan dalam bentuk simulasi saja. Sedangkan [15] mengimplementasikan SLAM secara simulasi dan kemudian diterapkan pada *mobile robot* di lingkungan sederhana. Namun, penelitian tersebut hanya membandingkan gambar peta saja tanpa pendekatan secara kuantitatif.

Selanjutnya, penelitian yang membahas sistem navigasi dilakukan oleh Jianxin Ren dkk [4]. Penelitian ini telah membahas semua kompetensi yang dibutuhkan dalam proses navigasi AGV. Namun, hasil penelitian ini hanya berfokus pada *chassis* robot yang memperhitungkan *odometry* untuk proses lokalisasi pada sistem navigas.

Dari penelitian-penelitian di atas dapat dilihat bahwa belum banyak penelitian yang membahas ketiga kompetensi yang menjadi syarat sistem navigasi AGV, yaitu *map building*, *self-localization* dan *path planning*. Penelitian-penelitian terdahulu hanya berfokus pada salah satu atau dua dari ketiga kompetensi tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. A. Oyekanlu *et al.*, “A Review of Recent Advances in Automated Guided Vehicle Technologies : Integration Challenges and Research Areas for 5G-Based Smart Manufacturing Applications,” vol. 8, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3035729.
- [2] H. Wei, X. Li, Y. Shi, B. You, and Y. Xu, “Multi - sensor Fusion Glass Detection for Robot Navigation and Mapping,” pp. 184–188, 2018.
- [3] S. Kuswadi, J. W. Santoso, M. Nasyir Tamara, and M. Nuh, “Application SLAM and Path Planning using A-Star Algorithm for Mobile Robot in Indoor Disaster Area,” *2018 Int. Electron. Symp. Eng. Technol. Appl. IES-ETA 2018 - Proc.*, pp. 270–274, 2019, doi: 10.1109/ELECSYM.2018.8615555.
- [4] J. Ren *et al.*, “SLAM, Path Planning Algorithm and Application Research of an Indoor Substation Wheeled Robot Navigation System,” *Electron.*, vol. 11, no. 12, 2022, doi: 10.3390/electronics11121838.
- [5] J. Theunissen, H. Xu, R. Y Zhong, and X. Xu, “Smart AGV System for Manufacturing Shopfloor in the Context of Industry 4 . 0,” in *2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, 2018, pp. 1–6.
- [6] C. Zhou and X. Liu, “The study of applying the AGV navigation system based on two dimensional bar code,” pp. 0–3, 2016, doi: 10.1109/ICIICII.2016.51.
- [7] O. Morandin, W. Pereira, and G. Jos, “An extended analysis on tuning the parameters of Adaptive Monte Carlo Localization ROS package in an automated guided vehicle,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 117, pp. 1975–1995, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07437-0>.
- [8] A. Yilmaz and H. Temeltas, “Self-adaptive Monte Carlo method for indoor localization of smart AGVs using LIDAR data,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 122, p. 103285, 2019, doi: 10.1016/j.robot.2019.103285.
- [9] R. Hanten, S. Buck, S. Otte, and A. Zell, “Vector-AMCL: Vector based

- adaptive monte carlo localization for indoor maps,” *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 531, pp. 403–416, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-48036-7\_29.
- [10] P. K. Panigrahi and S. K. Bisoy, “Localization strategies for autonomous mobile robots : A review,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 8, pp. 6019–6039, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2021.02.015.
- [11] L. Yang, J. Qi, D. Song, J. Xiao, J. Han, and Y. Xia, “Survey of Robot 3D Path Planning Algorithms,” *J. Control Sci. Eng.*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/7426913.
- [12] G. Tang, C. Tang, P. Zhou, and X. Hu, “Geometric A-Star Algorithm : An Improved A-Star Algorithm for AGV Path Planning in a Port Environment,” vol. 9, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070054.
- [13] A. Ammar, H. Bennaceur, I. Châari, A. Koubâa, and M. Alajlan, “Relaxed Dijkstra and A \* with linear complexity for robot path planning problems in large-scale grid environments,” *Soft Comput.*, vol. 20, pp. 4149–4171, 2015, doi: 10.1007/s00500-015-1750-1.
- [14] M. Santos and R. P. Rocha, “An Evaluation of 2D SLAM Techniques Available in Robot Operating System,” *IEEE*, 2013.
- [15] X. Zhang, J. Lai, D. Xu, H. Li, and M. Fu, “2D Lidar-Based SLAM and Path Planning for Indoor Rescue Using Mobile Robots,” *J. Adv. Transp.*, vol. 2020, no. 3, pp. 168–170, 2020, doi: 10.1155/2020/8867937.
- [16] X. Zhou, T. Chen, and Y. Zhang, “Research on Intelligent AGV Control System,” *2018 Chinese Autom. Congr.*, pp. 58–61, 2018, doi: 10.1109/CAC.2018.8623384.
- [17] A. Juneja, L. Bhandari, H. Mohammadbagherpoor, A. Singh, and E. Grant, “A Comparative Study of SLAM Algorithms for Indoor Navigation of Autonomous Wheelchairs,” 2019.
- [18] Y. Abdelrasoul, A. B. S. H. Saman, and P. Sebastian, “A quantitative study of tuning ROS gmapping parameters and their effect on performing indoor 2D SLAM,” *2016 2nd IEEE Int. Symp. Robot. Manuf. Autom. ROMA 2016*, 2017, doi: 10.1109/ROMA.2016.7847825.
- [19] W. Pereira, O. M. Junior, K. Cristiane, and T. Vivaldini, “A Quantitative

Study of Tuning ROS Adaptive Monte Carlo Localization Parameters and their Effect on an AGV Localization,” 2019.

- [20] D. Fox, “KLD-Sampling : Adaptive Particle Filters,” *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 14, 2001.
- [21] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, “The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance,” *IEEE*, vol. 69, no. 11, pp. 978–980, 1997, doi: 10.1109/100.580977.