

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penerapan *mobile robot* telah meningkatkan produktivitas di berbagai sektor, termasuk manufaktur, pertanian, militer, dan pendidikan secara signifikan [1]. Meningkatnya permintaan terhadap *mobile robot* yang dioperasikan secara otonom didorong oleh potensinya untuk melengkapi atau menggantikan pekerjaan manusia di berbagai lingkungan pekerjaan [2]. Misalnya, dalam pertanian cerdas, kendaraan otonom berperan dalam aktivitas seperti penanaman, pemupukan, pemanenan, transportasi, dan lainnya. Sementara itu, di lingkungan pabrik, kendaraan pintar digunakan untuk tugas-tugas seperti pengangkutan, logistik, serta berbagai pekerjaan lainnya [3]. *Mobile robot* juga biasanya menggunakan baterai isi ulang yang dapat bertahan selama beberapa jam saat penuh, tetapi baterai harus diisi ulang sebelum habis [4]. Akibatnya, pengisian daya otonom ini merupakan masalah mendesak yang harus diatasi, dimana kendaraan harus mencapai lokasi pengisian yang ditargetkan dengan orientasi yang tepat [5].

Dalam lima tahun terakhir, penelitian signifikan telah berfokus pada sistem *auto-docking* untuk kendaraan pintar dan *mobile robot*. Penelitian [6] mengembangkan robot pengisian daya otonom bernama "Yamabico Liv," yang menggabungkan perangkat keras khusus, termasuk kontak listrik dan sakelar. Penelitian [7] memperkenalkan stasiun *docking* inovatif untuk kendaraan listrik, dilengkapi dengan stasiun pengisian yang memiliki lengan otomatis. Penelitian [8] menghadirkan robot *auto-charging* yang dirancang untuk meningkatkan otomatisasi dalam proses pengisian kendaraan. Penelitian [9] mengusulkan proses *docking* tiga tahap yang memanfaatkan stasiun *docking* dengan desain mekanis khusus. Pengisian daya juga telah banyak diteliti pada platform lain, seperti kendaraan udara tak berawak dan kendaraan bawah air otonom. Misalnya, penelitian [10] meneliti tantangan pengisian daya kendaraan udara tak berawak menggunakan sistem berbasis penglihatan, sedangkan penelitian [11] mengembangkan sistem *docking* dengan desain mekanis yang memungkinkan kendaraan untuk mendekat dari segala arah.

Namun, salah satu tantangan utama dalam pengembangan sistem *auto-docking* adalah pemosisian kendaraan yang akurat selama proses *docking* [12]. Sistem GPS merupakan salah satu metode yang sering digunakan. Namun, sistem berbasis sinyal satelit ini tidak cocok untuk kasus ini karena sinyal GPS tidak dapat diakses dalam lingkungan dalam ruangan [13]. Sistem pemetaan buatan, seperti *circular tag* [14], [15] dan *square tag* [16], menyediakan titik fitur yang valid dan akurat untuk estimasi posisi. Dua diameter khusus yang diusulkan dalam penelitian [17] dapat membantu memperkirakan vektor normal dan posisi lingkaran, yang berguna untuk mengidentifikasi posisi target. *Square tag* berfungsi sebagai *fiducial marker* yang secara akurat menangkap informasi posisi. Metode ini dirancang agar empat sudut target mudah dikenali [18]. *Checkerboard* juga dapat dimanfaatkan untuk menyediakan informasi posisi target. Dalam [19], [20], metode yang menggunakan hubungan sejajar dan perpotongan berpasangan pada empat titik koplanar diterapkan untuk menyelesaikan masalah pemetaan posisi [18].

Maka dari itu, untuk menjawab tantangan dan kebutuhan pasar terkait *mobile robot* Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) berinisiatif membuat *Universal Platform Autonomous Vehicle* (UniPAV) yaitu *Autonomous Mobile Robot* yang dirancang untuk mengangkut barang. UniPAV dilengkapi dengan berbagai fitur, seperti *Mode Manual*, *Trajectory*, *Line Follower*, dan *Waypoint*. Namun, untuk meningkatkan efisiensi pekerjaan manusia, fitur-fitur ini perlu ditingkatkan terutama fitur yang sangat penting yaitu *docking* otonom menuju stasiun pengisian daya dikarenakan pasokan daya sangat penting untuk memungkinkan robot bekerja secara terus-menerus tanpa intervensi manusia [21].

Oleh karena itu, UniPAV akan diperbarui dengan penambahan sistem *docking* otonom yang mana sistem tersebut memerlukan perencanaan trajektori menggunakan *Long Short-Term Memory* (LSTM) dikarenakan kemampuannya dalam memproses data temporal yang memungkinkan UniPAV mengarahkan dirinya ke stasiun pengisian daya secara otonom berdasarkan pola pergerakan yang telah dipelajari. Selain itu, untuk lokalisasi menggunakan teknologi deteksi penanda ArUco untuk membantu UniPAV mengenali dan menyesuaikan posisinya dengan lebih akurat saat mendekati titik *docking*. Dengan kombinasi LSTM dan deteksi

penanda ArUco, sistem *docking* otonom ini diharapkan dapat menghasilkan trajektori yang optimal, memungkinkan UniPAV untuk menghindari rintangan secara otonom dan mempertahankan arah yang tepat menuju stasiun pengisian daya.

1.2 Kajian Riset Terdahulu

Kajian riset terdahulu adalah upaya peneliti untuk mencari perbandingan dan menemukan inspirasi baru untuk penelitian selanjutnya. Penelitian ini disertakan beberapa literasi sebagai pembanding terhadap penelitian sebelumnya untuk analisa dan memperkaya pembahasan penelitian, serta pembeda dengan penelitian yang sedang dilakukan. Literasi yang dijadikan pembanding ditampilkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Daftar referensi utama.

No	Judul	Peneliti	Tahun
1	<i>An Automatic Docking System for Wheeled Mobile robots</i> [22]	Alexey M. Romanov, dkk.	2021
2	<i>Automatic Docking and Charging of Mobile robot Based on Laser Measurement</i> [23]	Xiaofan Zhang, dkk.	2021
3	<i>IR Based Auto-Recharging System for Autonomous Mobile robot</i> [24]	M. V. Sreenivas Rao, dkk.	2021
4	<i>A Laser Intensity Based Autonomous Docking Approach for Mobile robot Recharging in Unstructured Environments</i> [21]	Yugang Liu, dkk.	2022
5	<i>Real-Time Dynamic Planning and Tracking Control of Auto-Docking for Efficient Wireless Charging</i> [5]	Liang Gong, dkk.	2023
6	<i>Vision- and Lidar-Based Autonomous Docking and Recharging of a Mobile robot for Machine Tending in Autonomous Manufacturing Environments</i> [25]	Feiyu Jia, dkk.	2023

Penelitian mengenai sistem *docking* otonom telah banyak dilakukan dan dipublikasikan, sebagaimana yang tertera pada Tabel 1.1. Penelitian [22] membahas algoritma untuk *mobile robot* dengan kinematika diferensial, yang

meningkatkan akurasi posisi dan orientasi dalam *docking* ke stasiun pengisian daya. Algoritma ini menggunakan metode deteksi yang robust dengan memanfaatkan *ArUco marker*, yang memungkinkan robot untuk menentukan posisi stasiun dengan akurasi tinggi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma ini mencapai akurasi *docking* hingga ± 5 cm dengan jarak minimum untuk memulai *docking* sebesar 58 cm, sehingga memungkinkan robot untuk parkir dalam koridor yang sempit.

Penelitian [23] membahas arsitektur *docking* otomatis berbasis sensor lidar untuk robot layanan. Arsitektur ini melibatkan pengenalan fitur stasiun *docking* menggunakan data laser dan filter partikel untuk menentukan hubungan koordinat antara robot dan stasiun *docking*. Selanjutnya, sebuah metode kontrol multi-tahap dirancang untuk menangani penyimpangan sudut dan jarak secara efisien. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa arsitektur yang diusulkan dapat mengarahkan robot untuk *docking* secara akurat dengan *error* posisi akhir di sumbu x sebesar 0 dan *error* sumbu y kurang dari 2 cm.

Penelitian [24] mengusulkan sistem pengisian ulang otomatis berbasis IR untuk *mobile robot* otonom. Sistem ini menggunakan sensor IR sebagai penanda untuk membimbing robot ke stasiun *docking*. Ketika tegangan baterai robot turun di bawah 12V, algoritma akan mengarahkan robot ke stasiun pengisian ulang secara otonom. Saat mencapai stasiun, robot mendeteksi sinyal dari pemancar IR dan secara otomatis melakukan *docking* untuk mengisi ulang baterai. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem ini mampu mencapai tingkat keberhasilan *docking* sebesar 95%.

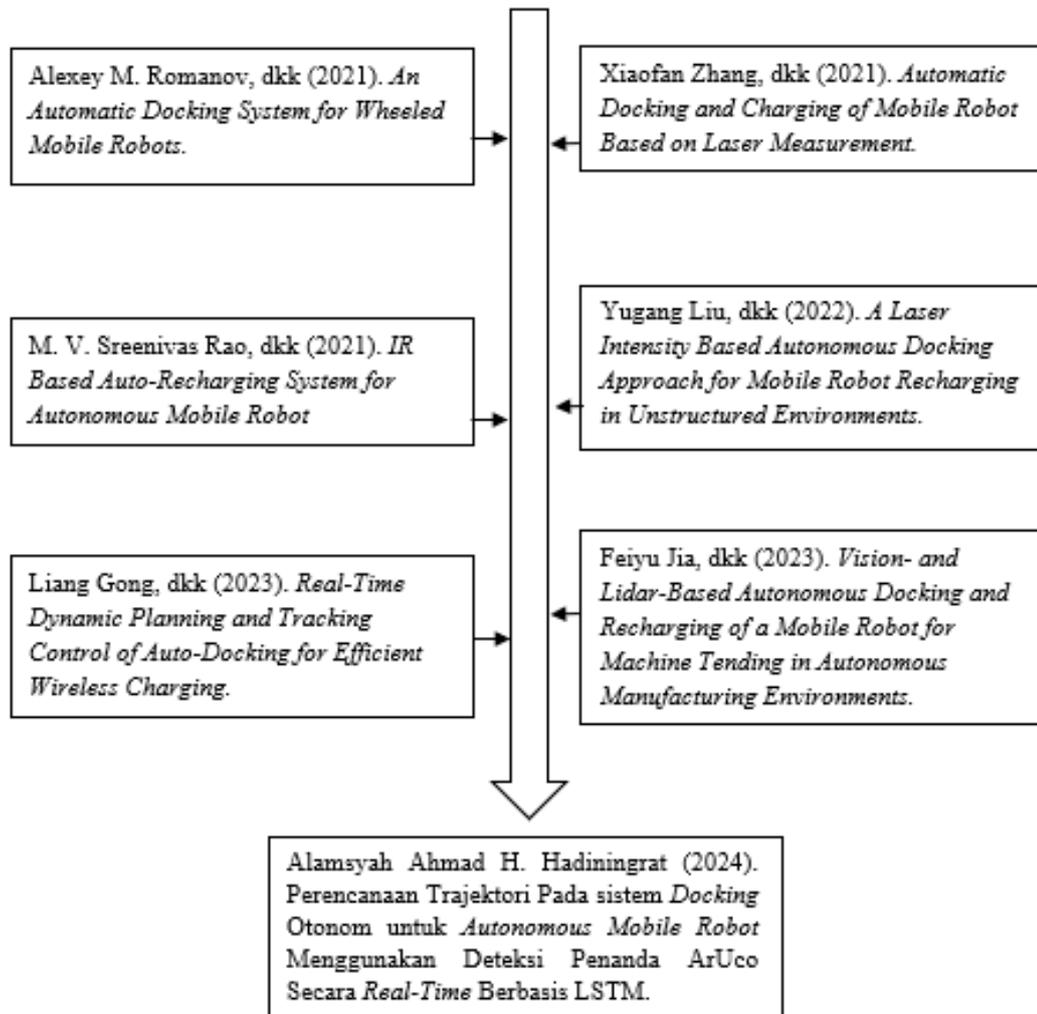
Penelitian [21] mengembangkan pendekatan *docking* otonom berbasis intensitas laser untuk pengisian ulang daya *mobile robot* di lingkungan tak terstruktur. Dalam penelitian ini, dilakukan eksperimen pada intensitas refleksi laser menggunakan pita reflektif untuk mendeteksi stasiun pengisian secara andal. Pendekatan ini, dibandingkan metode konvensional berbasis infra merah dan visual, mampu meningkatkan keandalan *docking* di lingkungan yang variatif. Hasil eksperimen menunjukkan keberhasilan metode yang diajukan dalam skenario yang melibatkan posisi stasiun pengisian yang tidak tetap dan adanya hambatan bergerak,

dengan tingkat keberhasilan lebih tinggi dibandingkan teknik berbasis kontur, terutama di lingkungan dinamis.

Penelitian [5] mengusulkan metode perencanaan jalur dinamis dan kontrol pelacakan real-time untuk sistem *auto-docking* pada pengisian daya nirkabel. Dalam studi ini, tantangan utama yang dibahas adalah menggabungkan kontrol posisi presisi dengan penghindaran rintangan dinamis yang terjadi secara bersamaan. Dengan model kendaraan non-holonmik, sistem ini mengintegrasikan pembatasan kecepatan dan dinamika kendaraan untuk meningkatkan efisiensi waktu dan energi dalam skenario yang melibatkan akselerasi dan deselerasi berkala. Hasil simulasi menunjukkan metode ini mampu mencapai kesalahan *docking* kurang dari 3 cm, melebihi akurasi algoritma perencanaan umum berbasis SLAM dalam skenario lingkungan dinamis.

Penelitian [25] mengembangkan metode *docking* dan pengisian ulang otonom berbasis kombinasi visi dan Lidar untuk *mobile robot* dalam lingkungan manufaktur. Studi ini menggunakan model deteksi objek YOLOv7 untuk mengenali stasiun pengisian dan Lidar untuk mendeteksi posisi dan jarak robot terhadap stasiun. Metode yang diusulkan ini memberikan kecepatan dan akurasi tinggi, mencapai tingkat akurasi deteksi sebesar 95% pada skenario waktu nyata. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggabungan data visi dan Lidar mengurangi biaya komputasi dan meningkatkan akurasi orientasi *docking* dalam lingkungan yang kompleks.

Berdasarkan hasil tinjauan literatur di atas terkait sistem *docking* otonom, pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan perancangan dan implementasi sistem *docking* otonom pada *Autonomous mobile robot* (AMR), berdasarkan deteksi ArUco secara *real-time* dengan metode LSTM yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi terutama dalam sistem *docking* otonom. Gambar 1.1 menunjukkan hubungan penelitian sekarang dan penelitian terdahulu.



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DIATI
Gambar 1.1 Hubungan penelitian.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan realisasi perencanaan trajektori pada sistem *docking* otonom untuk *autonomous mobile robot* menggunakan deteksi penanda ArUco secara *real-time* berbasis LSTM?
2. Bagaimana kinerja perencanaan trajektori pada sistem *docking* otonom untuk *autonomous mobile robot* menggunakan deteksi penanda ArUco secara *real-time* berbasis LSTM?

1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan algoritma perencanaan trajektori pada sistem *docking* otonom untuk *autonomous mobile robot* menggunakan deteksi penanda ArUco secara *real-time* berbasis LSTM.
2. Menganalisis kinerja algoritma perencanaan trajektori pada sistem *docking* otonom untuk *autonomous mobile robot* menggunakan deteksi penanda ArUco secara *real-time* berbasis LSTM.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat bagi bidang akademik
Memperkaya khazanah salah satu bidang ilmu pengetahuan di bidang robotika, khususnya pada Sistem *docking* otonom pada *Autonomous mobile robot* yang menggunakan penanda ArUco dengan metode LSTM sebagai perencanaan trajektori.
2. Manfaat Praktis
Penelitian ini diharapkan dapat jadi referensi bagi para peneliti terutama dalam mengimplementasikan algoritma LSTM sebagai perencanaan trajektori untuk sistem *docking* otonom pada *Autonomous mobile robot* dengan penanda ArUco sebagai *positioning*.

1.6 Batasan Masalah

Diperlukan Batasan masalah dalam penelitian ini karena batasan yang berhubungan dengan masalah ini sangat luas, sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih spesifik dan sesuai dengan tujuan pembuatan. Adapun pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

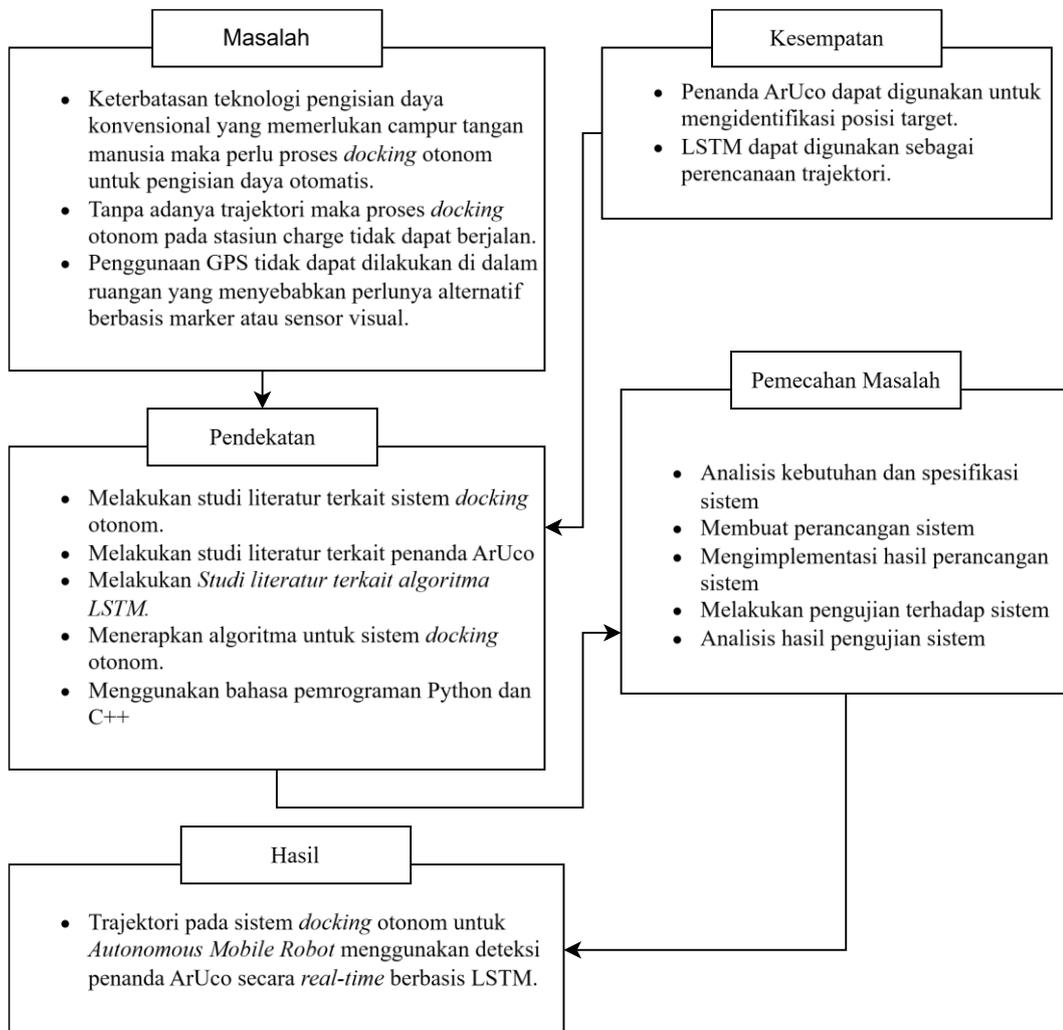
1. *Autonomous mobile robot* sudah berbentuk *prototype*.
2. *Autonomous mobile robot* diatur hanya bergerak dalam 2 derajat kebebasan, yaitu translasi dan rotasi.

3. Menggunakan komunikasi serial RX TX untuk komunikasi data antar mikrokontroler.
4. Menggunakan Realsense D455.
5. Menggunakan penanda ArUco sebagai *inputan positioning*.
6. Tidak memperhitungkan pengaruh slip roda dalam perancangan sistem kendali.
7. Pengujian dilakukan pada bidang datar.
8. Luas ruangan uji 7x7 meter.
9. Pengujian lintasan hanya 1 kali.
10. IMU sudah terintegrasi pada *prototype*

1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir memuat alur pemikiran yang berisi tentang informasi dari hasil perumusan masalah penelitian yang dirancang dapat diselesaikan melalui pendekatan yang dilakukan melalui penelitian, memudahkan pemahaman mengenai alur logis penelitian, dan bentuk kasar dari struktur penelitian. Kerangka berfikir pada penelitian ini dijelaskan pada Gambar 1.2.





Gambar 1.2 Kerangka berpikir.

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari 6 bab yang akan menguraikan permasalahan yang dibahas. Berikut sistematika penulisan beserta penjabarannya:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kajian riset terdahulu, kerangka berpikir, dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menguraikan mengenai teori yang mendasari penelitian ini serta memberikan gambaran tentang apa saja yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan diagram alur penelitian dan jadwal yang menjelaskan metode dan tahapan – tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini berisikan tentang perancangan semua sistem yang dibuat, baik dari *hardware* maupun *software*, mulai dari merancang sistem komunikasi serial, pengambilan *dataset*, dan implementasi sistem.

BAB V HASIL DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan hasil pengujian serta analisis yang diperoleh pada sistem *docking* otonom pada *autonomous mobile robot* dengan Perencanaan trajektori menggunakan deteksi penanda ArUco secara *real-time* berbasis LSTM.

BAB VI PENUTUP

Bab ini menjelaskan terkait kesimpulan dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan, serta berisikan saran terhadap penelitian-penelitian selanjutnya yang bisa dilakukan.

