

RRT and DWA Algorithms for Autonomous Patrol Robot Navigation Indoors*

Penerapan RRT* dan DWA Untuk Perencanaan Jalur
Serta Navigasi Otonom Robot Patroli di Dalam Ruangan

Timotius Kamal, Abdul Haris Junus Ontowirjo, Reynold Frankie Robot

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

Emails : timotiuskamal023@student.unsrat.ac.id, aharisjo@unsrat.ac.id, reynold.robot@unsrat.ac.id

Received: 25 August 2025; revised: 13 February 2026; accepted: 1 April 2026

Abstract – *This research aims to implement a combination of RRT* and DWA algorithms in an autonomous navigation system for patrol robots operating in indoor environments. The RRT* algorithm is used as a global planner to generate optimal paths from the starting point to the destination, while the DWA algorithm serves as a local planner to avoid dynamic obstacles in real-time. The system is built on the Robot Operating System (ROS) platform, supported by the Rplidar A1 sensor for mapping and obstacle detection, the BNO055 IMU sensor for orientation, and the Mini PC T9 Plus along with Arduino Mega 2560 as the main controllers. The experimental results demonstrate that the system can accurately generate 2D maps using the Hector SLAM method, perform localization using the AMCL algorithm, and successfully navigate to target points with minimal error. Although maneuver efficiency is limited due to robot speed configuration, the combination of RRT* and DWA proves effective for patrol robot navigation in indoor settings.*

Keywords: *Patrol Robot, RRT*, DWA, Autonomous Navigation, ROS, Hector SLAM, AMCL.*

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan kombinasi algoritma RRT* dan DWA dalam sistem navigasi otonom pada robot patroli yang beroperasi di lingkungan tertutup. Algoritma RRT* digunakan sebagai perencana jalur global untuk menghasilkan lintasan optimal dari titik awal ke tujuan, sedangkan DWA digunakan sebagai perencana jalur lokal untuk menghindari rintangan dinamis secara real-time. Sistem ini dibangun menggunakan platform Robot Operating System (ROS) dengan dukungan sensor Rplidar A1 untuk pemetaan dan deteksi rintangan, sensor IMU BNO055 untuk orientasi, serta Mini PC T9 Plus dan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan peta dua dimensi yang akurat menggunakan metode Hector SLAM, melakukan lokalisasi dengan algoritma AMCL, serta menyelesaikan navigasi ke titik tujuan dengan tingkat error yang sangat rendah. Meskipun terdapat keterbatasan dalam efisiensi manuver akibat konfigurasi kecepatan robot, sistem gabungan RRT* dan DWA terbukti efektif untuk navigasi robot patroli dalam lingkungan tertutup.

Kata kunci: Robot Patroli, RRT*, DWA, Navigasi Otonom, ROS, Hector SLAM, AMCL.

I. PENDAHULUAN

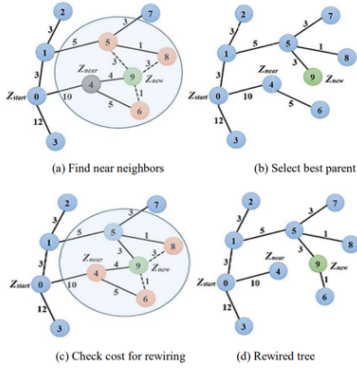
Sistem navigasi otonom untuk robot dalam lingkungan tertutup yang kompleks telah menjadi komponen penting di berbagai industri karena kemampuannya untuk melakukan tugas secara mandiri atau di bawah pengawasan manusia. Salah

satu aplikasi signifikan dari robotika adalah dalam bidang pengawasan di mana robot berfungsi sebagai aset penting untuk menjaga keamanan dan ketertiban. Robot patroli merupakan salah satu robot yang dirancang untuk memantau area tertentu secara terus-menerus. Meskipun memiliki utilitas yang tinggi, robot patroli menghadapi tantangan besar dalam merencanakan jalur navigasi terutama ketika berhadapan dengan rintangan dinamis dan statis. Perencanaan jalur yang efektif menjadi krusial karena menentukan seberapa efisien robot dapat melintasi lingkungan sambil menghindari bahaya potensial.

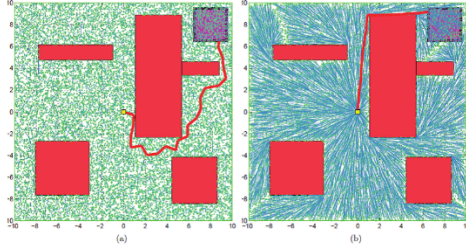
Salah satu algoritma perencanaan jalur yang telah terbukti efektif dalam menjawab tantangan tersebut adalah Rapidly-exploring Random Tree Star (RRT*). RRT* merupakan pengembangan dari algoritma RRT yang tidak hanya mengeksplorasi ruang konfigurasi secara acak tetapi juga mengoptimalkan jalur agar biaya perjalanan menjadi seminimal mungkin. Algoritma ini melakukan pemilihan ulang induk (rewiring) untuk menghubungkan simpul baru ke jalur dengan total biaya terendah, sehingga jalur yang dihasilkan semakin optimal seiring bertambahnya jumlah sampel [1]. Penelitian tersebut membuktikan secara teoretis bahwa RRT* memiliki sifat asymptotic optimality, yaitu konvergen terhadap solusi optimal ketika jumlah iterasi mendekati tak hingga.

Sebagaimana dijelaskan oleh [2], “metode perencanaan jalur ini dapat menghasilkan jalur yang aman dan efisien untuk robot patroli”. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa RRT* dapat dikombinasikan dengan pendekatan lain seperti Dynamic Window Approach (DWA) untuk meningkatkan kemampuan navigasi, khususnya dalam menghadapi rintangan dinamis. DWA bekerja dengan memilih kecepatan linier dan sudut yang aman dan efisien dalam sebuah jendela waktu berdasarkan dinamika robot dan informasi rintangan yang terdeteksi secara real-time. Dengan menggabungkan RRT* sebagai global planner dan DWA sebagai local planner, robot dapat menavigasi lintasan optimal secara keseluruhan sekaligus menyesuaikan diri terhadap rintangan tak terduga secara lokal.

[3] menekankan bahwa “kombinasi RRT* dan DWA memungkinkan robot untuk secara efektif menghindari rintangan dan kembali ke jalur optimal.” Hal ini sangat penting dalam konteks robot patroli, di mana kecepatan respons, keamanan, dan efisiensi operasional menjadi hal yang krusial. Penerapan algoritma gabungan ini diharapkan dapat menghasilkan sistem navigasi robot yang lebih responsif,



Gambar 1 Contoh Algoritma RRT* Bekerja



Gambar 2 Perbandingan (a)Algoritma RRT dan (b)Algoritma RRT*

optimal, dan mampu beroperasi mandiri di lingkungan tertutup yang kompleks. [4] Pendekatan perencanaan jalur hibrida, seperti RRT dan DWA, telah menjadi standar untuk navigasi mobile robot di lingkungan indoor saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi efektivitas implementasi RRT* dan DWA dalam perencanaan jalur serta navigasi otonom robot patroli, sekaligus memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem robotika cerdas di masa depan.

II. METODE

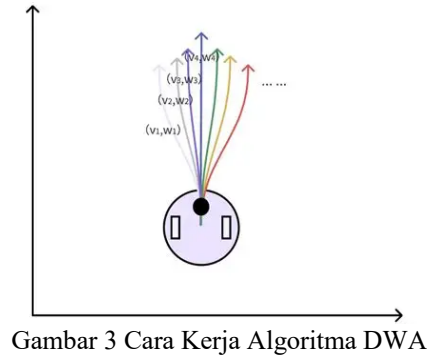
A. Algoritma Rapidly-exploring Random Tree Star

Algoritma Rapidly-exploring Random Tree Star (RRT*) adalah pengembangan dari RRT untuk perencanaan jalur robot otonom di lingkungan penuh rintangan dengan keunggulan optimasi jalur agar lebih pendek dan efisien[5]. Berbeda dari RRT, RRT* tidak hanya menambah titik baru ke pohon pencarian tetapi juga melakukan optimasi selama proses, sehingga jalur yang terbentuk lebih optimal[6].

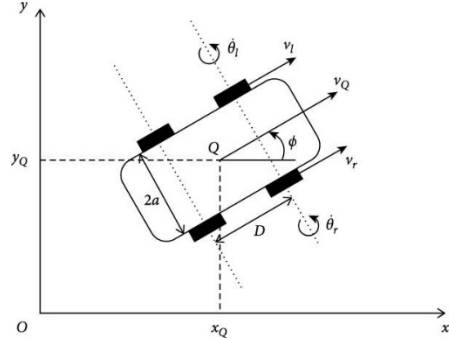
Prinsip kerja RRT* melibatkan pembangunan pohon pencarian dari titik awal menuju titik tujuan dengan mengeksplorasi ruang secara acak. Rumus jarak Euclidean digunakan untuk menghitung jarak antara titik terdekat dalam pohon dan titik baru yang ingin ditambahkan sebagai berikut[7]:

$$d(x_{nearest}, x_{new}) = \sqrt{(x_{new_x} - x_{nearest_x})^2 + (x_{new_y} - x_{nearest_y})^2} \quad (2.1)$$

Setelah titik baru ditambahkan RRT* melakukan optimasi jalur dengan mengevaluasi jalur yang menghubungkan titik baru dengan titik yang ada dalam pohon. Biaya atau cost dari jalur antara titik baru dan titik sebelumnya dihitung menggunakan rumus berikut[8]:



Gambar 3 Cara Kerja Algoritma DWA



Gambar 4 Ilustrasi Four Wheel Drive

$$C(x_i, x_{new}) = C(x_{parent}, x_i) + d(x_i, x_{new}) \quad (2.2)$$

$$V_{min} = V_{current} - a_{max} \cdot t \quad (2.3)$$

B. Algoritma Dynamic Window Approach

Dynamic Window Approach (DWA) adalah algoritma perencanaan jalur untuk robot mobile di lingkungan dinamis dengan mempertimbangkan batasan kinematik dan rintangan. Algoritma ini mengevaluasi kecepatan serta arah dalam jendela waktu tertentu, memprediksi posisi masa depan, dan memilih jalur optimal berdasarkan kriteria seperti jarak ke rintangan dan efisiensi.

Batas kecepatan minimum dan maksimum dalam jendela dinamis dinyatakan sebagai:

$$V_{max} = V_{current} + a_{max} \cdot t \quad (2.4)$$

DWA juga mengevaluasi potensi jalur berdasarkan kriteria seperti jarak ke rintangan dan efisiensi energi menggunakan fungsi biaya:

$$C = w_1 \cdot d + w_2 \cdot e \quad (2.5)$$

Untuk memprediksi posisi masa depan robot, DWA menggunakan model kinematik sederhana:

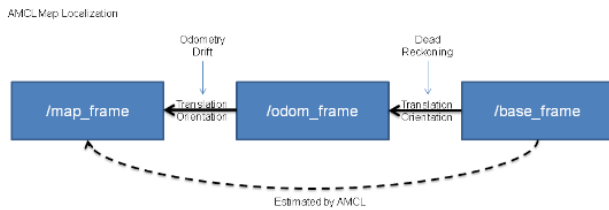
$$x_{new} = x_{current} + V \cdot \cos(\theta) \cdot t \quad (2.6)$$

$$y_{new} = y_{current} + V \cdot \sin(\theta) \cdot t \quad (2.7)$$

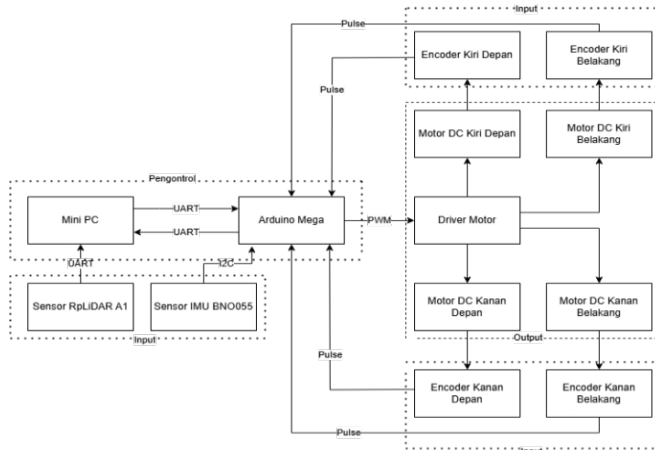
DWA memungkinkan robot untuk secara adaptif memilih jalur yang aman dan efisien dengan memperhitungkan kondisi lingkungan secara real-time, menjadikannya sangat efektif dalam navigasi di lingkungan yang penuh rintangan[9].

C. Four Wheel Differential Drive

Sistem penggerak diferensial empat roda mengatur arah dengan membedakan kecepatan roda kiri dan kanan: jika sama kendaraan bergerak lurus, jika berbeda kendaraan berbelok, bahkan dapat berputar di tempat bila berlawanan arah.



Gambar 5 Ilustrasi Hubungan Frame Pada AMCL



Gambar 6 Diagram Sistem

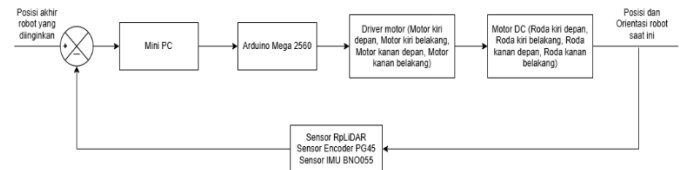
Sistem ini terbukti robust di medan tidak rata, namun kelemahannya adalah risiko selip roda yang dapat mengganggu akurasi posisi[10].

D. Adaptive Monte Carlo Localization

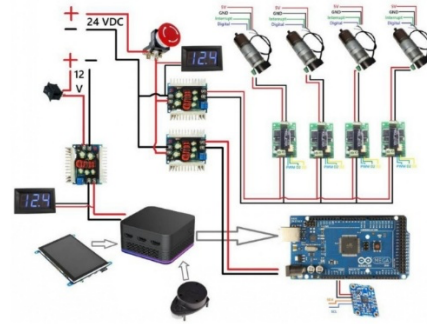
Adaptive Monte Carlo Localization (AMCL) adalah pengembangan dari Monte Carlo Localization (MCL) yang lebih efisien dan akurat karena mampu menyesuaikan jumlah partikel secara dinamis. Prosesnya meliputi inialisasi partikel untuk merepresentasikan posisi robot, prediksi gerakan menggunakan model robot dengan mempertimbangkan ketidakpastian, pembobotan partikel berdasarkan kesesuaian data sensor dengan peta, serta resampling untuk mempertahankan partikel dengan bobot tinggi[11], [12], [13].

E. Konsep Rancangan Sistem

Sistem komunikasi robot diawali dengan RPLiDAR A1 yang memindai lingkungan 360° dan mengirim data ke Mini PC untuk diproses oleh algoritma RRT* dan DWA dalam perencanaan jalur[14]. Mini PC kemudian mengirim instruksi ke Arduino Mega melalui komunikasi serial untuk mengendalikan motor driver yang menggerakkan motor DC dengan umpan balik dari encoder serta sensor IMU untuk orientasi[15]. Data sensor digunakan sebagai feedback posisi dan orientasi robot, dibandingkan dengan target, lalu diproses Mini PC sebelum menghasilkan perintah PWM ke driver motor kiri dan kanan[16]. Seluruh sistem divisualisasikan secara real-time melalui RViz di ROS[17].



Gambar 7 Diagram Blok Sistem Kendali Robot



Gambar 8 Rangkaian Keseluruhan Sistem



Gambar 9 Robot Tampak Depan dan Belakang



Gambar 10 Robot Tampak Samping

F. Perancangan Sistem Elektronik

Sistem elektronik robot mencakup komunikasi Mini PC dengan Arduino Mega2560, pembacaan sensor, kendali gerakan, antarmuka pengguna, serta catu daya. Robot menggunakan dua baterai Li-Ion 12V seri sebagai sumber utama dan satu baterai 12V khusus untuk Mini PC. Sensor dan aktuator dihubungkan ke Arduino, di mana empat encoder terpasang pada pin interrupt, output PWM dikirim ke driver motor BTN7970, dan sensor IMU memberikan data orientasi. Arduino terhubung ke Mini PC melalui USB untuk komunikasi serial, sementara RPLidar langsung terkoneksi ke Mini PC via USB.



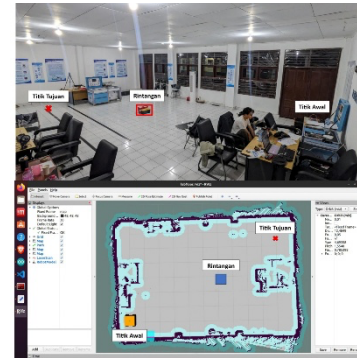
Gambar 10 Orientasi Robot



Gambar 11 Laboratorium Conch Fakultas Teknik



Gambar 12 Titik Tujuan Robot pada Map



Gambar 13 Peta pengujian rintangan dinamis

Tabel 1 Hasil Pengukuran Map

Titik	Jarak Sebenarnya (cm)	Jarak di maps(cm)	Error (%)
A - B	1180	1190	0.85
B - C	785	790	0.64
Rata rata Error			0.74

Tabel 2 Pengukuran Orientasi Robot

Sudut	Perubahan Orientasi(°)	Rviz (°)	Real (°)	Error (%)
0 – 90	90	90	90	0.00
0 – 180	180	180	180	0.00
0 – 270	270	270	270	0.00
0 – 360	360	360	360	0.00
Rata-rata nilai error				0.00

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Rancangan Sistem

Sistem yang telah di buat sesuai dengan desain 3D.

B. Pengujian Lokalisasi

Pengujian orientasi robot dengan menggunakan kompas dari Smartphone yang dipasang di atas robot, perubahan sudut dibandingkan dengan perubahan sudut yang ditampilkan di rviz.

Sementara Pengujian lokalisasi dilakukan dengan membandingkan antara jarak perpindahan robot yang ditunjukkan melalui rviz dengan jarak perpindahan robot

Tabel 3 Rata-rata Hasil Pengujian Perpindahan Posisi Robot

Jarak(cm)	Perubahan posisi di rviz (cm)	Error (%)
50	50.4	0.91
100	100.525	0.59
150	150.075	0.8
200	199.775	0.26
Rata – rata Error		0.64

Tabel 4 Pengujian Path Planning dan Navigasi Otonom tuning akhir

Titik	Path Planning	Navigasi Otonom	Waktu Robot Mencapai Titik Finish
1 - 2	Berhasil	Berhasil	37 s
2 - 4	Berhasil	Berhasil	66 s
1 - 3	Berhasil	Berhasil	57 s
4 - 3	Berhasil	Berhasil	44 s

sebenarnya. Dalam pengujian ini gerakan yang dilakukan robot hanya gerakan maju.

C. Pengujian Path Planning dan Navigasi Otonom

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah robot mampu membuat jalur ke titik tujuan dan mampu mengikuti jalur yang telah terbentuk sampai ke titik tujuan.

Tahap tuning sistem navigasi robot menetapkan batas kecepatan maksimal 0,6 m/s untuk gerakan linear dan 1,2 rad/s untuk gerakan angular, dengan kendali PID yang didominasi oleh nilai $K_i = 9,9$ dan $K_d = 1,0$ karena penggunaan K_p justru memicu overshoot sehingga kecepatan sulit stabil. Perencanaan

jalur global dilakukan oleh algoritma RRT* dengan batas waktu 3 detik, menghasilkan jalur terbaik meski sering tidak halus, sementara algoritma DWA bertugas sebagai local planner yang mengarahkan gerakan robot secara real-time, mengoreksi jalur global yang patah-patah, serta melakukan obstacle avoidance berdasarkan data LIDAR. Dalam pengujian di lingkungan indoor dengan lantai ubin datar, slip roda mengganggu orientasi robot sehingga sistem perlu melakukan re-planning agar tetap dapat mencapai tujuan secara akurat.

D. Pengujian Penghindar Rintangan

Pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan robot dalam menghindari rintangan secara langsung berdasarkan data yang dibaca oleh sensor RpLidar, tanpa bergantung pada peta lingkungan, saat robot melakukan navigasi mengikuti jalur awal yang telah ditentukan.

Dari hasil pengujian robot bisa menghindari rintangan yang sebelumnya tidak ada dalam peta. Robot dapat menghindari rintangan dengan perilaku saat mendekati objek rintangan robot berhenti kemudian membuat jalur baru untuk melewati rintangan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem navigasi otonom robot patroli berhasil diimplementasikan di ROS dengan mengintegrasikan RRT* sebagai global planner dan DWA sebagai local planner. Robot mampu melakukan pemetaan, lokalisasi, dan navigasi indoor secara efisien, bergerak menuju titik tujuan sambil menghindari rintangan real-time. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi, dengan error rata-rata pemetaan Hector SLAM 0,74%, orientasi AMCL 0%, dan posisi linier 0,64%. Kinerja sistem dipengaruhi keterbatasan waktu perencanaan RRT* yang menghasilkan jalur global patah-patah serta slip roda di lantai licin yang kadang mengganggu orientasi dan memicu *re-planning*.

Saran pengembangan penelitian ini meliputi optimasi parameter RRT* dan DWA, misalnya dengan menambah waktu perencanaan atau menerapkan path smoothing untuk jalur lebih mulus. Selain itu, penggunaan roda dengan traksi lebih baik atau kontrol gerak adaptif disarankan guna mengurangi slip dan meningkatkan akurasi odometri. Dari sisi komputasi, perangkat keras lebih tinggi atau optimasi kode dapat dipertimbangkan untuk mengurangi beban pemrosesan pada Mini PC.

KUTIPAN

- [1] S. Karaman and E. Frazzoli, "Sampling-based Algorithms for Optimal Motion Planning."
- [2] Q. Zou, H. Wang, T. Zhang, Z. Li, and Y. Zhuang, "Research on Path Planning Method for Autonomous Patrol Robots," *Electronics (Switzerland)*, vol. 13, no. 14, Jul. 2024, doi: 10.3390/electronics13142865.
- [3] R. Zhang, L. Zhou, and Z. Liu, "Dynamic Path Planning for Mobile Robot Based on RRT* and Dynamic Window Approach Approach," *Journal of System Simulation*, vol. 36, pp. 4–15, doi: 10.16182/j.issn1004731x.joss.22-1543.
- [4] J. R. Sánchez-Ibáñez, C. J. Pérez-Del-pulgar, and A. García-Cerezo, "Path planning for autonomous mobile robots: A review," Dec. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/s21237898.
- [5] F. Atas, L. Grimstad, and G. Cielniak, "Evaluation of Sampling-Based Optimizing Planners for Outdoor Robot Navigation," Mar. 2021, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2103.13666>
- [6] M. M. Massoud, A. Abdellatif, and M. R. A. Atia, "Different Path Planning Techniques for an Indoor Omni-Wheeled Mobile Robot: Experimental Implementation, Comparison and Optimization," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 24, Dec. 2022, doi: 10.3390/app122412951.
- [7] K. Y. Poetrachya, "Aplikasi Algoritma RRT-Star untuk Simulasi Perencanaan Jalur Robot di Lingkungan Dalam Ruangan," Makalah IF1220 Matematika Diskrit, Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Jan. 2025.
- [8] T. Zeng and B. Si, "Mobile Robot Exploration Based on Rapidly-exploring Random Trees and Dynamic Window Approach," in *2019 5th International Conference on Control, Automation and Robotics, ICCAR 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2019, pp. 51–57. doi: 10.1109/ICCAR.2019.8813489.
- [9] J. Zhao, S. Liu, and J. Li, "Research and Implementation of Autonomous Navigation for Mobile Robots Based on SLAM Algorithm under ROS," *Sensors*, vol. 22, no. 11, Jun. 2022, doi: 10.3390/s22114172.
- [10] S. Martelli and F. Mocera, "Experimental Analysis of an Autonomous Driving Strategy for a Four-Wheel Differential Drive Agricultural Rover," *MDPI AG*, Mar. 2025, p. 41. doi: 10.3390/engproc2025085041.
- [11] M. Patil, A. Thakur, P. Bagul, and P. Yogita Ajar, "Hector SLAM Mapping and Localization System using ROS and LIDAR."
- [12] S. Saat, W. N. Abd Rashid, M. Z. M. Tumari, and M. S. Saealal, "HECTORSLAM 2D MAPPING for SIMULTANEOUS LOCALIZATION and MAPPING (SLAM)," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1529/4/042032.
- [13] F. Fahmizal, M. S. Pratikno, H. N. Isnianto, A. Mayub, H. Maghfiroh, and P. Anugrah, "Control and Navigation of Differential Drive Mobile Robot with PID and Hector SLAM: Simulation and Implementation," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 10, no. 3, pp. 594–607, Sep. 2024, doi: 10.26555/jiteki.v10i3.29428.
- [14] S. Syahrul, A. Amran, and M. I. Maghfirah, "Analisis Kinerja Sistem LiDAR (Light Detection and Ranging) dalam Pengukuran Jarak dengan Pendekatan Simulasi: Evaluasi Akurasi dan Reliabilitas Pengukuran," *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 5, pp. 1569–1576, 2024, doi: 10.56338/jks.v7i5.5250.
- [15] A. Febriawan and W. Sapto Aji, "Rotating Control on Robots Indonesian Abu Robot Contest with PID and IMUBNO055 Controls Kendali Berputar pada Robot Kontes Robot Abu Indonesia dengan kendali PID dan IMUBNO055," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik*

Elektro, vol. 2, no. 1, pp. 14–23, 2020, doi: 10.12928/biste.v1i2.987.

- [16] S. Yanyong, R. Parichatprecha, P. Chaisiri, S. Kaitwanidvilai, and P. Konghuayrob, “Sensor Fusion of Light Detection and Ranging and iBeacon to Enhance Accuracy of Autonomous Mobile Robot in Hard Disk Drive Clean Room Production Line,”

Sensors and Materials, vol. 35, no. 4, pp. 1473–1486, 2023, doi: 10.18494/SAM4158.

- [17] M. Liu, M. Chen, Z. Wu, B. Zhong, and W. Deng, “Implementation of Intelligent Indoor Service Robot Based on ROS and Deep Learning,” *Machines*, vol. 12, no. 4, Apr. 2024, doi: 10.3390/machines12040256.



Penulis bernama lengkap Timotius Kamal, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Lahir di Tahuna pada tanggal 11 Oktober 2003. Penulis menempuh pendidikan di TK Katolik Excelsior Ulu Siau (2008–2009), SD GMIST Ekklesia Tahuna (2009–2015), kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Tahuna (2015–2018), dan menyelesaikan jenjang sekolah

menengah atas di SMA Kristen 2 Binsus Tomohon (2018–2021).

Pada tahun 2021, penulis memilih melanjutkan studi di Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi Manado. Selama masa perkuliahan, penulis aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Elektro (HME FT-UNSRAT) dan Unit Kegiatan Mahasiswa Edukasi Robotika. Memasuki semester lima, penulis memilih konsentrasi minat Teknik Kendali dan Kecerdasan Buatan, dan bergabung dalam komunitas Control Engineering Community (CEC).

Penulis aktif mengikuti kegiatan Kontes Robot Indonesia (KRI) pada tahun 2023 dan 2024, serta menjadi asisten praktikum pada mata kuliah Praktikum Sistem Kendali. Selain itu, penulis juga melaksanakan program magang di PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Minahasa selama dua bulan, yaitu dari tanggal 5 Agustus hingga 7 Oktober 2024.

Untuk menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Elektro, penulis menyusun Tugas Akhir dengan judul “Penerapan Algoritma RRT (Rapidly-exploring Random Tree Star) dan DWA (Dynamic Window Approach) untuk Perencanaan Jalur serta Navigasi Otonom Robot Patroli pada Lingkungan Tertutup.”