



Desain Mapping Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) Mobile Robot Menggunakan LIDAR Sebagai Navigasi Purwarupa UAV Tenaga Surya

Debora Tampubolon¹, Tresna Dewi², Pola Risma³

¹Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

deboratampubolon50@gmail.com, tresna_dewi@polsri.ac.id, p@polsri.ac.id

Abstract

The main problem for autonomous robots to navigate is how the robot can recognize the surrounding environment. Therefore, this research focuses on designing a mapping and localization system using the Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) method which is implemented on a mobile robot using a LiDAR sensor. This research proposes a mapping and localization system to recognize the surrounding environment by creating an environmental map combined with an IMU sensor. Testing is carried out by testing each sensor such as IMU and LiDAR, and testing the mapping and localization system. The test results of the mapping and localization system show optimal results and are able to recognize environmental conditions around the robot and visualize 2D mapping design maps.

Keywords: *Simultaneous Localization And Mapping SLAM*, LiDAR, IMU, Design.

Abstrak

Permasalahan utama dari robot otonom untuk bernavigasi adalah bagaimana robot dapat mengenali lingkungan sekitar. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem mapping dan lokalisasi menggunakan metode *Simultaneous Localization And Mapping (SLAM)* yang diimplementasikan pada mobile robot menggunakan sensor LiDAR. Penelitian ini mengusulkan sistem mapping dan lokalisasi untuk mengenali lingkungan sekitar dengan membuat peta lingkungan yang dikombinasikan dengan sensor IMU. Pengujian dilakukan dengan menguji setiap sensor seperti IMU dan LiDAR, dan menguji sistem mapping dan lokalisasi. Hasil pengujian dari sistem mapping dan lokalisasi menunjukkan hasil yang optimal dan mampu mengenali kondisi lingkungan sekitar robot dan memvisualisasikan peta desain 2d mapping.

Kata kunci: *Simultaneous Localization And Mapping SLAM*, LiDAR, IMU, Desain.

Diterima Redaksi : 15-11-2023 | Selesai Revisi : 23-12-2023 | Diterbitkan Online : 31-12-2023

1. Pendahuluan

SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) atau Lokalisasi dan Pemetaan Secara Bersamaan merupakan sebuah metode yang memungkinkan robot atau kendaraan otonom memetakan area yang tidak dikenali. Pendekatan self-localization ini berguna untuk pemetaan area yang terlalu kecil atau terlalu berbahaya untuk dieksplorasi manusia. [1 - 10]

Dengan adanya pemetaan ini didapatkan pengenalan tentang lingkungan sekitar. Sehingga akan memudahkan robot dalam melakukan tugas selanjutnya, seperti navigasi pada robot ataupun misi penentuan sebuah ruang. Oleh karena itu diperlukan robot yang dapat melakukan tugas pemetaan ruangan ini. Untuk mendapatkan data dalam pembentukan peta ruangan

dibutuhkan sensor yang memiliki jarak pembacaan yang jauh serta akurasi yang tinggi.[11 -15]

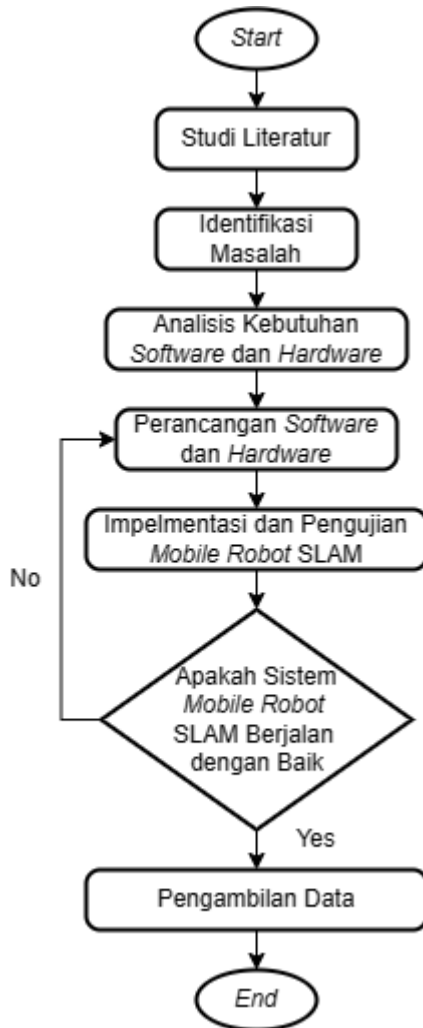
LIDAR merupakan salah satu sensor optik yang memiliki pembacaan jarak yang jauh dan memiliki kerapatan data tentang sumbu koordinat dalam suatu ruangan. Sehingga LIDAR berpotensi untuk melakukan pembentukan peta pada suatu ruangan. Prinsip kerja Lidar secara umum adalah sensor memancarkan sinar laser terhadap objek kemudian sinar tersebut dipantulkan kembali ke sensor. [16 - 20]

Perkembangan framework robotika saat ini mengalami kemajuan pesat, salah satunya adalah ROS (Robot Operating System), yang menyediakan beragam paket dan alat yang sangat berguna untuk pengembangan robot. ROS bersifat open source, memungkinkan pengembangan mobile robot untuk memproses data

LIDAR dan mendapatkan visualisasi pemetaan yang lebih baik dan akurat. Meskipun sistem navigasi inersia ini dapat mengalami kesalahan navigasi karena penyimpangan integrasi, kepadatan data dan akurasi tinggi dari sensor LIDAR membuatnya menjadi pilihan yang cocok untuk pemetaan dan navigasi robot.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan lingkungan dalam ruangan yang tidak diketahui menggunakan RPLiDAR dan Rviz, dengan data RPLiDAR digunakan untuk membuat peta 2D dan divisualisasikan menggunakan Rviz di ROS. [21 -22]

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Perencanaan Studi Penelitian

Gambar 1 merupakan metode penelitian dalam perancangan sistem *Mobile Robot SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)*. Studi literatur dilaksanakan terlebih dahulu dengan mencari informasi baik kajian ilmiah lalu diikuti observasi peralatan yang sudah ada secara menyeluruh. Desain mekanik dikembangkan setelah usulan penelitian diterima dengan membuat kerangka untuk menempatkan sensor. Desain dan simulasi

dimaksudkan untuk menghubungkan kabel baik data maupun power supply pada modul. Pemrograman dilakukan sesuai kebutuhan, Pengujian dilakukan dengan dua cara yaitu simulasi test dan implementasi test untuk mendapatkan karakteristik sistem sesuai dengan yang diinginkan.

2.1. LiDAR SLAM

Light detection and ranging (LIDAR) adalah suatu sensor yang memanfaatkan pantulan sinar laser untuk mengukur objek yang ada disekitarnya. Cara kerja sensor LIDAR ini cukup mudah dipahami yaitu dengan melakukan perhitungan jarak terhadap bidang datar yang berada di sekitarnya dengan cara mengeluarkan sinar laser dari transmitter ke sebuah bidang datar kemudian menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk sinar itu diterima oleh receptor. Hasil dari sensor LIDAR berupa jarak pada sudut. Untuk mengukur berapa lama waktu yang dibutuhkan sensor untuk mengukur jarak antara sensor dengan bidang datar dapat dicari menggunakan rumus : [23]

$$d = c \frac{t}{2} \quad (1)$$

Ket :

d = Jarak antara sensor dan objek yang diukur (m)

c = Kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \frac{m}{s}$)

t = Waktu tempuh sinyal (s)

2.2 Inertial Measurement Unit (IMU)

Inertial Measurement Unit (IMU) Merupakan suatu sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan, orientasi dan gaya gravitasi dengan menggunakan sensor *accelerometer* dan *gyroscope*. IMU seringkali digunakan dalam suatu sistem pesawat terbang. Komponen penyusun IMU yang pertama adalah sensor accelerometer, sensor ini digunakan untuk mengukur percepatan dari suatu benda dengan cara melakukan integral percepatan benda tersebut terhadap waktu. Komponen selanjutnya yang menyusun IMU Sensor adalah sensor gyro, cara kerja sensor ini mendeteksi gerakan sesuai gravitasi, atau dengan kata lain mendeteksi gerakan pengguna. Gyroscope memiliki keluaran berupa kecepatan sudut dari arah 3 sumbu yaitu: sumbu x / sudut phi (kanan dan kiri) dari sumbu y/sudut theta (atas dan bawah), dan sumbu z /sudut psi (depan dan belakang).

2.3. ROS-Rviz

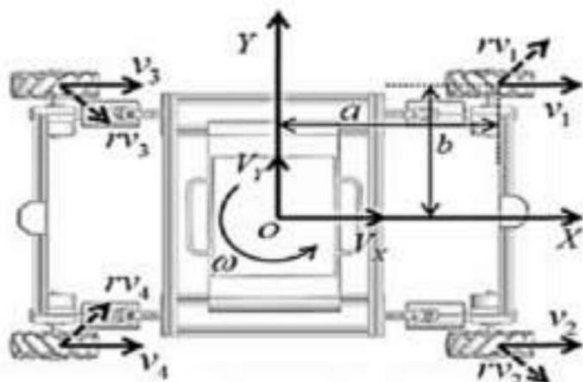
ROS-Rviz merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk menghubungkan perangkat keras robot dengan sistem operasi komputer secara fleksibel. Di dalam ROS juga memuat tools dan library yang bisa

digunakan untuk mengembangkan berbagai macam program untuk sistem robot. Tujuan penggunaan ROS juga untuk memudahkan para pengembang robot dalam membuat sistem robot yang diinginkan tanpa harus membuat pengkodean dari awal serta dapat mengembangkan kode sumber. Di dalam ROS terdapat package RViz yang dapat menampilkan hasil peta 2D. RViz (ROS Visualization) merupakan suatu package yang terdapat di dalam ROS yang dapat digunakan sebagai media visualisasi 2D atau 3D untuk memvisualisasikan robot dan data sensor yang telah didapatkan dari sensor LIDAR. [24]

2.4 Model kinematis

Kinematika adalah cabang ilmu yang menganalisis gerak tanpa memperhatikan apa yang menyebabkan gerak. Yang dimaksud gerak disini adalah semua jenis perpindahan, yang mencakup perubahan posisi dan orientasi. Secara umum, hampir semua masalah kinematika dapat ditafsirkan sebagai vektor tambahan yang ditransformasikan terhadap frame referensi.

Invers kinematic mengacu pada penggunaan persamaan kinematika robot untuk menentukan parameter bersama yang memberikan posisi yang diinginkan pada posisi akhir atau efektor. Persamaan kinematik mendefinisikan beberapa bagian dari pergerakan robot, diantaranya kecepatan V_x , V_y dan ω menjadi persamaan kecepatan sudut masing-masing roda. [25]



Gambar 2.2 Kinematic Mobile Robot

Konfigurasi parameter dan sistem kecepatan didefinisikan sebagai berikut:

- X, Y adalah sumbu koordinat kartesius;
- V_x, V_y [m/s] adalah kecepatan linier robot;
- v_i adalah kecepatan linier tiap roda terhadap sumbu X;
- ω [rad/s] adalah kecepatan sudut robot;
- r_{vi} adalah kecepatan pasif roller pada roda i ;
- a adalah jarak roda depan dengan titik pusat robot;

- b adalah jarak roda samping dengan titik pusat robot.

Penomoran roda, jarak vertikal, horisontal, arah serta sudut resultan dari roller dan roda didefinisikan sebagai berikut ;

$$i = 1,2,3,4$$

$$a_i = \{a, a, -a, -a\}$$

$$b_i = \{b, -b, b, -b\}$$

$$\alpha_i = \{1, -1, -1, 1\}$$

Setiap roda memiliki tambahan komponen kecepatan terhadap sumbu X dan Y akibat kecepatan rotasi ω ;

$$r_{v_i} x = \omega \cdot b \tag{1}$$

$$r_{v_i} y = \omega \cdot a \tag{2}$$

Oleh karena itu, total kecepatan linier V_x dan V_y di setiap pusat roda menjadi ;

$$V_i x = V_x - \omega b \tag{3}$$

$$v_i + r_{v_i} \cos(\alpha_i) = V_x - \omega b \tag{4}$$

$$V_i y = V_y + \omega a \tag{5}$$

$$R_{v_i} \sin(\alpha_i) = V_y + \omega a \tag{6}$$

Untuk mencari kecepatan linier tiap roda maka substitusikan persamaan (4) dan (6) sehingga didapatkan persamaan (8)

$$V_i = V_x - \omega b - \frac{v_i + \omega a}{\sin(\alpha_i)} \cdot \cos(\alpha) \tag{7}$$

$$V_i = V_x - \omega b - \frac{v_i + \omega a}{\tan(\alpha_i)} \tag{8}$$

Langkah selanjutnya adalah substitusi konstanta a_i, b_i, α_i kedalam persamaan (8) sehingga di dapatkan persamaan (9), (10), (11), (12) yang mempresentasikan kecepatan linier tiap roda. Introduction to Mobile Robot Control. [25]

© 2014 Elsevier Inc. All rights reserved.

$$v_1 = V_x - \omega b - [V_y + \omega a] \tag{9}$$

$$V_x - V_y - \omega a - \omega b$$

$$V_x - V_y - \omega(a + b)$$

$$v_2 = V_x - \omega b - V_y - \omega a \tag{10}$$

$$V_x + V_y + \omega a + \omega b$$

$$V_x + V_y + \omega(a + b)$$

$$v_3 = V_x - \omega b - V_y + \omega a \tag{11}$$

$$V_x + V_y - \omega a - \omega b$$

$$V_x + V_y - \omega(a + b)$$

$$v_4 = V_x + \omega b - [V_y - \omega a] \tag{12}$$

$$V_x - V_y + \omega a + \omega b$$

$$V_x - V_y + \omega(a + b)$$

Langkah terakhir adalah membawa kecepatan linier tiap roda kedalam kecepatan sudut. Karena $v = \omega \cdot r$ dimana r adalah radius roda mekanum, maka bila dibuat persamaan matriksnya menjadi :

$$\begin{bmatrix} \omega 1 \\ \omega 2 \\ \omega 3 \\ \omega 4 \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(a+b) \\ 1 & 1 & (a+b) \\ 1 & 1 & -(a+b) \\ 1 & -1 & (a+b) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (13)$$

Jika persamaan (2) dan (3) digabungkan maka didapat persamaan (4) dan (5)

$$R = \frac{L}{2} \frac{v_r + v_l}{v_r - v_l} \quad (4)$$

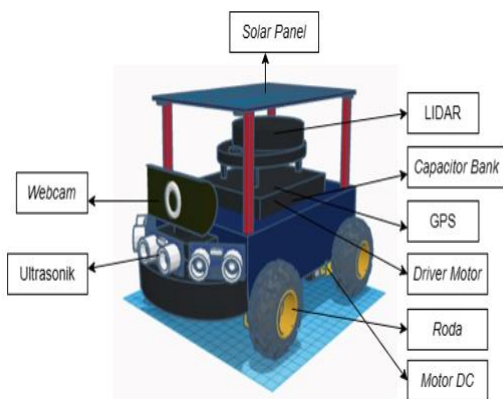
$$\omega = \frac{v_r - v_l}{l} \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

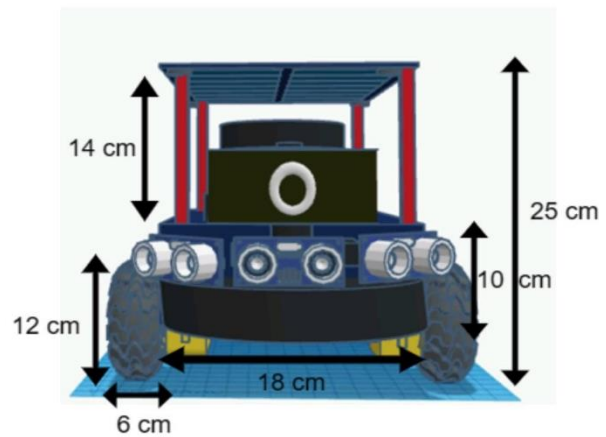
Dalam tahapan pelaksanaan penelitian ini , ada beberapa tahap yang telah dilaksanakan. Berikut merupakan tahapan yang telah dilaksanakan.

3.1 Desain Mobile Robot

Gambar 3.1 dan 3.2 merupakan desain implementasi atau penerapan sensor lidar pada *Mobile Robot* empat roda.

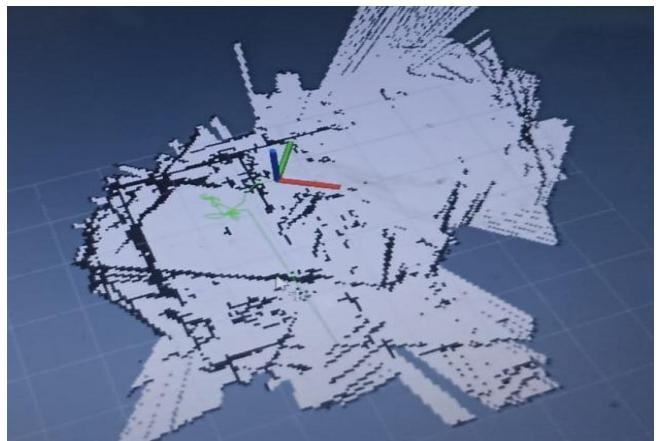


Gambar 3.1 SLAM Mobile Robot

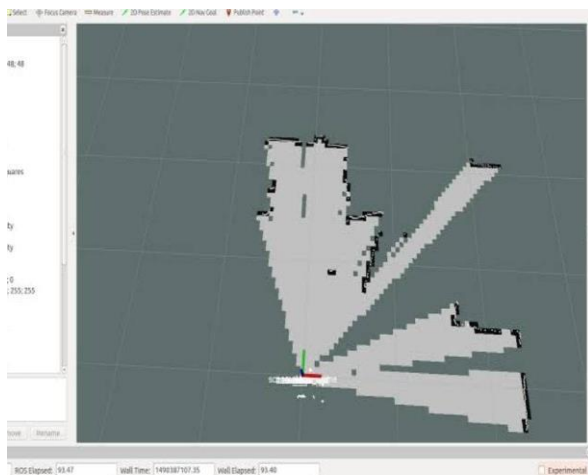


Gambar 3.2 SLAM Mobile Robot

3.2. Simulasi LIDAR dengan Rviz



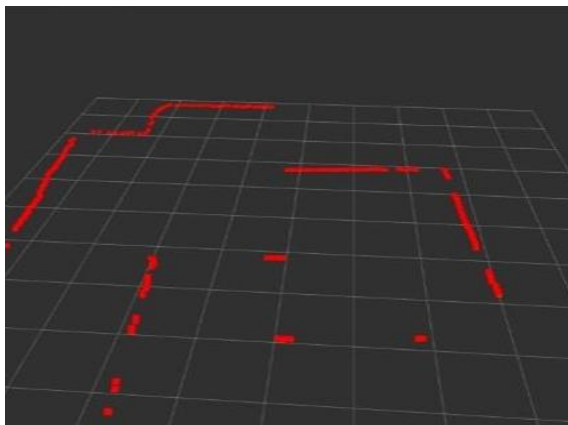
Gambar 3.3 Simulasi Rviz SLAM Mobile Robot



Gambar 3.4 emetaan Rviz SLAM Mobile Robot

Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 adalah hasil mapping ruangan dengan Sensor Lidar mengukur jangkauan objek di sekitarnya dengan memindai sinar laser dalam busur melingkar. Mobile robot bergerak untuk

menghasilkan peta lingkungan. Informasi pemetaan dari data Laser berhasil divisualisasikan menggunakan alat Rviz.



Gambar 3.5 Pemetaan *Mobile Robot*

Informasi yang dipindai dari Lidar dikirim ke SLAM menggunakan ROS untuk menghasilkan peta 2D untuk seluruh lingkungan. Gambar 3.5 menunjukkan peta lingkungan 2D yang dihasilkan sensor lidar dalam pengujian ini *mobile robot* berjalan dengan ukuran ruangan 15m x 25m (LxP).

4. Kesimpulan

Dalam kegiatan penelitian ini telah dilakukan penelitian tentang sistem SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) mobile robot pada lingkungan. Hasil penelitian memberikan informasi bahwa sistem SLAM yang dibangun mampu melakukan pemetaan dan lokalisasi dengan baik dan dapat menampilkan desain lokasi pemetaan peta lingkungan.

Daftar Rujukan

- [1] H. Kim, D. H. Lee, S. W. Ahn, W. K. Kim, S. O. Hur, J. Y. Choi, S. Chung, Design and testing of an autonomous irrigation controller for precision water management of greenhouse crops, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, Vol. 8, No 4, pp. 228-234, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2015.03.001>
- [2] D. S. Paraforos, H. W. Griepentrog, Multivariable greenhouse climate control using dynamic decoupling controllers, *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 46, No 18, pp. 305-310, 2013, <https://doi.org/10.3182/20130828-2-SF-3019.00064>.
- [3] C. A. Hernández-Morales, J.M. Luna-Rivera, and R. Perez-Jimenez, Design and deployment of a practical IoT-based monitoring system for protected cultivations, *Computer Communications*, Vol. 186, pp. 51-64, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.01.009>.
- [4] C. Chang, S. Chung, W. Fu, and C. Huang, Artificial intelligence approaches to predict growth, harvest day, and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a IoT-enabled greenhouse system, *Biosystems Engineering*, Vol. 212, pp. 77-105, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.015>.
- [5] E. A. Abioye, M. S. Z. Abidin, M. S. A. Mahmud, S. Buyamin, M. K. I. AbdRahman, A. O. Otuozu, M. S. A. Ramli, and O. D. Ijike, IoT-based monitoring and data-driven modelling of drip irrigation system for mustard leaf cultivation experiment, *Information Processing in Agriculture*, Vol. 8, No 2, pp. 270-283, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.05.004>
- [6] E. Collado, E. Valdés, A. García, and Y. Sáez, Design and implementation of a low-cost IoT-based agroclimatic monitoring system for greenhouses, *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, Vol. 5, No. 4, pp. 251-283, 2021. doi: 10.3934/electreng.2021014.
- [7] F. Hahn, Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 77, No 1, pp. 21-27, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.03.003>.
- [8] H. Benyezza, M. Bouhedda, and S. Rebouh, Zoning irrigation smart system based on fuzzy control technology and IoT for water and energy saving, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 228(13), pp. 2278-2284. <https://doi.org/10.1177/0954406213518523>.
- [9] Dewi T., Nurmaini S., Risma P., Oktarina Y., and Roriz M., 2019, Inverse Kinematic Analysis of 4 DOF Pick and Place Arm Robot Manipulator using Fuzzy Logic Controller, *IJECE*, 10(2), pp. 1376-1386. doi:10.11591/ijece.v10i2.pp1376-1386.
- [10] Uchiyama N., Dewi T., and Sano S., 2014, Collision Avoidance Control for a Human-Operated Four Wheeled Mobile Robot, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 228(13), pp. 2278-2284. <https://doi.org/10.1177/0954406213518523>.
- [11] Uchiyama N., Dewi T., Sano S., and Takahashi H., 2014, Swarm Robot Control for Human Services and Moving Rehabilitation by Sensor Fusion, *Journal of Robotics*, 2014(278659), 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2014/278659>.
- [12] Dewi T., Amperawan, Risma P., Oktarina Y., and Yudha D. A., 2020, Finger Cue for Mobile Robot Motion Control, *Computer Engineering and Application Journal*, 9(1), pp. 39-48. doi: [10.18495/COMENGAPP.V9I1.319](https://doi.org/10.18495/COMENGAPP.V9I1.319).
- [13] Oktarina Y., Dewi T., and Risma T., 2020, The Concept of Automatic Transport System Utilizing Weight Sensor, Vol. 9, No. 2, pp. 155-163. doi: [10.18495/COMENGAPP.V0I0.339](https://doi.org/10.18495/COMENGAPP.V0I0.339)
- [14] Y. Oktarina, T. Dewi, P. Risma, and M. Nawawi, Tomato Harvesting Arm Robot Manipulator: a Pilot Project, *Journal of Physics: Conference Series*, 1500, p 012003, Proc. 3rd FIRST, Palembang: Indonesia, 2020, DOI: 10.1088/1742-6596/1500/1/012003
- [15] T. Dewi, P. Risma, and Y. Oktarina, Fruit Sorting Robot based on Color and Size for an Agricultural Product Packaging System, *Bulletin of Electrical Engineering, and Informatics (BEEI)*, vol. 9, no. 4, pp. 1438-1445, 2020, DOI: 10.11591/eei.v9i4.2353.
- [16] T. Dewi, Z. Mulya, P. Risma, and Y. Oktarina, BLOB Analysis of an Automatic Vision Guided System for a Fruit Picking and Placing Robot, *International Journal of Computational Vision and Robotics*, Vol. 11, No 3, pp. 315-326, 2021. <https://doi.org/10.1504/IJCVR.2021.115161>.
- [17] T. Dewi, C. Anggraini, P. Risma, Y. Oktarina, and Muslikhin, Motion Control Analysis of Two Collaborative Arm Robots in Fruit Packaging System, *SINERGI* Vol. 25, No. 2, pp. 217-226, 2021. <http://doi.org/10.22441/sinergi.2021.2.013>.
- [18] Dewi T., Risma P., Taqwa A., Rusdianasari, and Renaldi H., 2020, Experimental analysis on solar powered mobile robot as the prototype for environmentally friendly automated transportation, *Proc. iCAST on Engineering Science*, 24-25 Oct 2019, Bali: Indonesia, doi:10.1088/1742-6596/1450/1/012034.
- [19] F. Septiarini, T. Dewi and Rusdianasari, Design of a solar-powered mobile manipulator using fuzzy logic controller of agriculture application, *International Journal of Computational Vision and Robotics*, Inderscience, Vol. 12, No. 5, pp. 506-531, 2022. <https://doi.org/10.1504/IJCVR.2022.125356>.
- [20] Farooq U., Amar M., Asad M.U., Hanif A., and Saleh S.O., 2014. Design and Implementation of Neural Network of

- Based Controller for Mobile Robot Navigation in Unknown Environment. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 6(2), pp. 83-89. doi:10.7763/IJCEE 2014.V6.799
- [22] Dewi T., Wijanarko Y., Risma P., and Oktarina Y., 2018, Fuzzy Logic Controller Design for Leader-Follower Robot Navigation, *5th Proc. EECESI*, 5(1), pp. 298-303. 16-18 Oct 2018, Malang : Indonesia. doi:[10.1109/EECSI.2018.8752696](https://doi.org/10.1109/EECSI.2018.8752696).
- [23] Dewi T., Risma P., and Oktarina Y., 2018, Fuzzy Logic Simulation as a Teaching-learning Media for Artificial Intelligence Class, *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 12(3), pp. 3-9. doi: [10.14313/JAMRIS_3-2018/13](https://doi.org/10.14313/JAMRIS_3-2018/13)
- [24] Dewi T., Oktarina Y., Risma P., and Kartini S., 2019, Desain Robot Pengikut Manusia Sederhana dengan Fuzzy Logic Controller, *Proc. Annual Research Seminar (ARS)*, 5(1), pp. 12- 16, 16 Nov 2019, Palembang: Indonesia.
- [25] Introduction to Mobile Robot Control. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-417049-0.00003-1> 2014 Elsevier Inc. All rights reserved.