

Pemodelan Matriks Kinematika Pada Robot Three-Wheel Swerve Drive

Mohammad Irfan Ilhan Shanjaya¹, Joko Endrasmono², Zindhu Maulana Ahmad Putra³, Imam Sutrisno⁴, Lilik Subiyanto⁵, Ii Munadhif⁶

e-mail: mirfan@student.ppns.ac.id, endrasmono@ppns.ac.id, zindhu@ppns.ac.id, imam_sutrisno@ppns.ac.id, llksubiyanto@ppns.ac.id, iimunadhif@ppns.ac.id

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Otomasi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 13 Juni 2024
Direvisi 20 September 2024
Diterbitkan 30 September 2024

Kata kunci:

Mobile Robot
Swerve Drive
Kinematika

Keywords:

Mobile Robot
Swerve Drive
Kinematic

Penulis Korespondensi:

Mohammad Irfan Ilhan Shanjaya
Teknik Otomasi
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo.
Email: mirfan@student.ppns.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +6283830387592

ABSTRAK

Penelitian dalam bidang robotika, khususnya mobile robot atau wheeled mobile robot, terus berkembang seiring dengan peningkatan penggunaannya di berbagai sektor untuk menyederhanakan tugas dan mengurangi risiko cedera manusia. Mekanisme kemudi, seperti Swerve Drive, menjadi fokus penting dalam pengembangan robot bergerak. Swerve Drive memungkinkan gerakan omnidireksional yang memerlukan kontrol optimal dan pengembangan yang kompleks. Pengendalian Swerve Drive membutuhkan motor besar dan algoritma yang canggih untuk mengatur kecepatan dan sudut kemudi pada setiap roda secara independen, dengan tujuan mencapai posisi dan orientasi yang ditargetkan. Pengujian simulasi menunjukkan bahwa robot dapat bergerak dengan baik menggunakan kontrol kinematika yang telah disiapkan, dengan kemampuan translasi, gerakan diagonal, dan rotasi sesuai kebutuhan. Dengan demikian, pemodelan kinematika dan pengembangan algoritma kontrol yang efisien sangat penting untuk meningkatkan manuverabilitas dan kinerja robot swerve drive.

ABSTRACT

Research in robotics, particularly mobile robots or wheeled mobile robots, continues to grow as their use in various sectors increases to simplify tasks and reduce the risk of human injury. Steering mechanisms, such as Swerve Drive, are becoming an important focus in the development of mobile robots. Swerve Drive enables omnidirectional motion that requires optimal control and complex development. Controlling the Swerve Drive requires large motors and sophisticated algorithms to set the speed and steering angle on each wheel independently, with the aim of achieving the targeted position and orientation. Simulation testing shows that the robot can move well using the prepared kinematics control, with translational, diagonal movement and rotational capabilities as required. Thus, kinematics modeling and development of efficient control algorithms are essential to improve the maneuverability and performance of the swerve drive robot.

1. PENDAHULUAN

Penelitian di bidang robotika, terutama terfokus pada mobile robot atau wheeled mobile robot, terus menunjukkan pertumbuhan yang signifikan seiring berjalannya waktu. Ini disebabkan oleh beberapa alasan, termasuk meningkatnya pemanfaatan robot di berbagai sektor untuk menyederhanakan tugas dan mengurangi risiko cedera pada manusia. Karena itu, bidang robotika menarik perhatian para peneliti untuk menghasilkan inovasi dan solusi



yang lebih efisien [1]. Terdapat beberapa alasan untuk ini, termasuk peningkatan penggunaan robot dalam berbagai bidang untuk mempermudah tugas dan mengurangi risiko cedera bagi manusia. Karena itu, penelitian dalam bidang robotika menjadi menarik bagi para peneliti. Perkembangan terkini dalam teknologi robot beroda telah membuka beragam aplikasi potensial di industri, sektor medis, rumah sakit, dan Gudang [2].

Mekanisme Kemudi merupakan salah satu topik penelitian populer dalam pengembangan robot bergerak [3]. Salah satunya yaitu *Swerve Drive*, *Swerve drive* adalah sistem penggerak yang didesain untuk memungkinkan robot bergerak secara omnidireksional memungkinkan pergerakan ke segala arah dengan fleksibilitas penuh. Sistem Swerve drive memiliki potensi kemampuan manuver yang tinggi, namun penerapannya tidak selalu mudah. Di kancah internasional, teknologi yang dikenal sebagai "Robot swerve" juga dikenal dengan sebutan *Wheel Independent Drive and Independent Steering* (WIDWIS) [4]. Pergerakan dan posisi menggunakan swerve drive ini juga membutuhkan kontrol yang optimal [5]. Setiap roda membutuhkan dua aktuator, satu untuk memberikan torsi kepada roda penggerak dan yang lainnya untuk menggerakkan dan mengarahkan vektor dorong roda penggerak ke arah yang diinginkan [6]. Kompleksitas kinematika robot dan perubahan dinamis saat bergerak memerlukan pendekatan kontrol tingkat lanjut. Oleh karena itu, peneliti berusaha untuk meningkatkan kemampuan manuverabilitas robot swerve drive dengan memperkenalkan penerapan metode yang efisien.

Robot dengan kemampuan penggerak yang efisien, cepat, dan tepat tentunya memiliki keuntungan tersendiri yaitu dalam mempersingkat waktu. *Swerve drive* merupakan *drive-train omnidirectional* salah satu jenis roda penggerak yang banyak diminati dikarenakan memiliki manuverabilitas yang tinggi, swerve drive memiliki penggerak dan kemudi independen pada setiap roda, jenis roda penggerak ini dapat memberikan kecepatan dan kebebasan dalam bermanuver yang tinggi dibandingkan dengan jenis penggerak lainnya seperti omni [7].

Sistem *Swerve Drive* membutuhkan motor yang lebih besar dan algoritma pengendalian yang kompleks untuk mengatur kecepatan dan sudut kemudi pada setiap roda secara independen. Tujuannya adalah mengontrol robot secara bersamaan agar dapat mencapai posisi dan orientasi yang ditargetkan. Dalam pengendalian sistem, akan diterapkan pendekatan bertingkat, dimana pengendalian tingkat rendah mengatur penyesuaian kecepatan dan orientasi roda terhadap tubuh robot. Pengendalian tingkat tinggi akan berfungsi untuk mengkoordinasikan gerakan masing-masing roda sehingga robot dapat bergerak sesuai dengan lintasan yang diinginkan.

Agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam pergerakan robot *swerve drive* maka diperlukan pemodelan kinematika agar semua roda dapat terintegrasi dan dapat melakukan manuver yang baik. Kinematika robot adalah aspek yang krusial dalam menentukan arah dan kecepatan robot [8]. Inverse kinematics adalah kebalikan dari pendekatan kinematika (*forward kinematics*) yang digunakan untuk mendapatkan parameter kecepatan individu dari setiap roda pada robot [9]. Metode ini merupakan representasi matematis dari gerakan suatu sistem mekanik tanpa mempertimbangkan pengaruh gaya yang memengaruhi gerakan tersebut. Selain dari kebutuhan akan sistem umpan balik yang akurat, robot juga harus dilengkapi dengan sistem mekanis yang sesuai agar gerakan robot dapat berjalan dengan efisien [10].

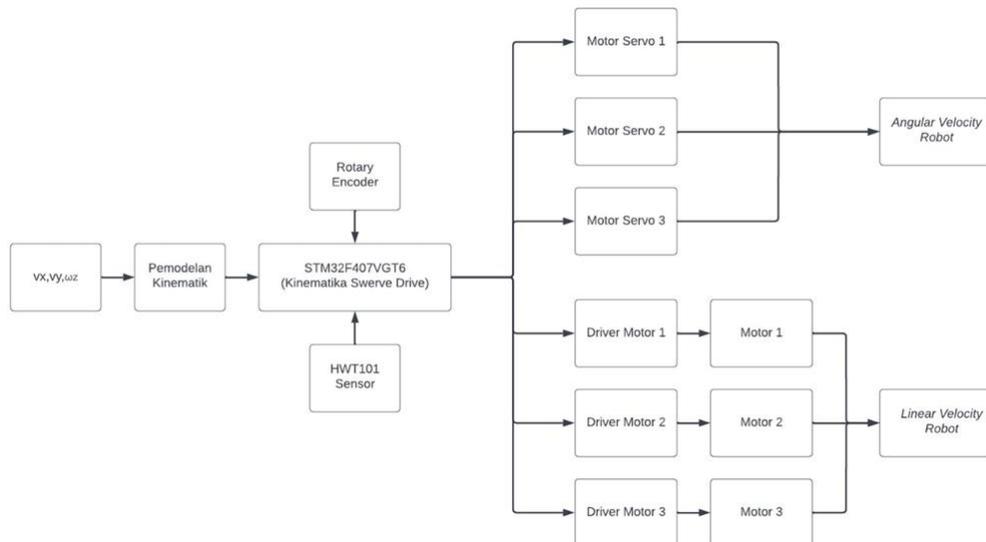
2. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini, terdapat pembahasan mengenai pelaksanaan penelitian. Proses penelitian akan membicarakan tentang konsep penelitian, tahapan-tahapan penelitian. Penjelasan terkait proses penelitian ini akan disampaikan secara berurutan.

2.1 PRINSIP KERJA SISTEM

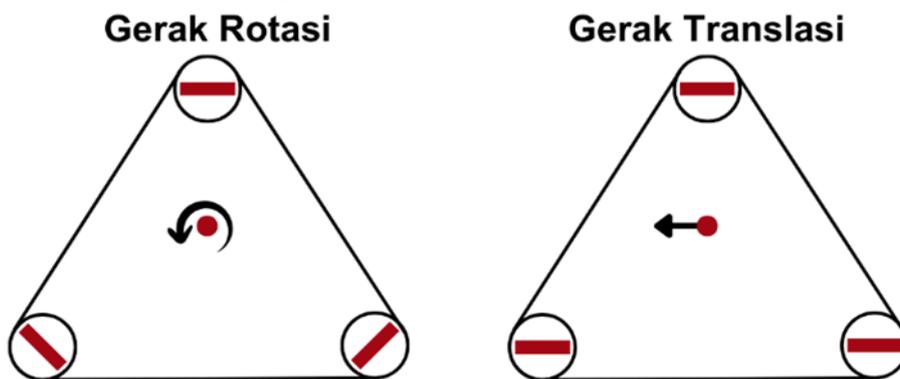
Prinsip operasi sistem mengacu pada aturan dasar yang mengatur fungsi suatu sistem. Sistem adalah kumpulan atau keterkaitan unsur-unsur (atau komponen) yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan tertentu. Prinsip operasi sistem mencakup berbagai aspek, termasuk desain, implementasi, dan operasional dari suatu sistem.





Gambar 1. Diagram Blok Sistem.

Pada Gambar 1 prinsipnya, diagram blok dibagi menjadi tiga bagian utama, yakni input, proses, dan output. Bagian input melibatkan HWT, Rotary Encoder akan di proses oleh STM32F407VGT6 sebagai koreksi hasil keluaran dari kinematika swerve drive. Kinematika yang telah di proses oleh STM32F407VGT6 akan menggerakkan motor BLDC, dan Motor Servo sebagai aktuator. Tiga motor BLDC dan tiga motor servo diintegrasikan ke robot, yang bergerak seiring dengan gerakan linear dan rotasinya.



Gambar 2. Contoh Gerak Translasi dan Rotasi Robot.

Gambar 2 merupakan contoh gerak translasi dan rotasi pada robot beroda dengan penempatan roda membentuk segitiga seperti pada gambar diatas. Pada gerakan rotasi (kiri), roda-roda berputar dengan arah yang memungkinkan robot untuk berputar di tempat tanpa mengubah posisi pusatnya, menghasilkan rotasi searah atau berlawanan arah jarum jam sesuai arah putaran roda. Sementara itu, pada gerakan translasi (kanan), roda-roda berputar sedemikian rupa untuk menghasilkan gerakan lurus ke arah tertentu, misalnya ke depan atau ke samping, tanpa rotasi pada badan robot.

2.2 Matrix Kinematika Three-Wheel Swerve Drive

Pada pembahasan matriks kinematika mekanisme swerve drive tiga roda, ada yang perlu dipertimbangkan yaitu posisi dan orientasi dari setiap roda serta hubungan antara kecepatan robot swerve drive secara keseluruhan dan kecepatan individu dari setiap roda. Pada masing-masing roda diasumsikan dapat diputar dengan sudut



yang dapat bervariasi dan dapat memberikan dorongan di berbagai arah. Untuk menyederhanakan, kita bisa menuliskan kecepatan dari pusat robot sebagai vektor:

$$V = [v_x, v_y, \omega] \quad (1)$$

Dan untuk setiap roda, perhitungan kecepatan relatifnya terhadap pusat robot dengan mempertimbangkan posisi roda. Berdasarkan rumus gerak dapat dilihat pada persamaan 3.2, maka didapatkan hubungan kinematika sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} v_{1x} \\ v_{1y} \\ v_{2x} \\ v_{2y} \\ v_{3x} \\ v_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -y_1 \\ 0 & 1 & x_1 \\ 1 & 0 & -y_2 \\ 0 & 1 & x_2 \\ 1 & 0 & -y_3 \\ 0 & 1 & x_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dimana (x_i, y_i) Adalah posisi roda relative terhadap pusat robot. Sebagai contoh jika titik pusat $(0,0)$ di tengah antara roda 1 dan roda 2, maka:

$$(x_1, y_1) = (-l/2, -w) \quad (3)$$

$$(x_2, y_2) = (l/2, -w) \quad (4)$$

$$(x_3, y_3) = (0, w) \quad (5)$$

Jika $v_x, v_y, dan \omega$ diketahui maka menghitung komponen kecepatan masing-masing roda didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} v_{1x} \\ v_{1y} \\ v_{2x} \\ v_{2y} \\ v_{3x} \\ v_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & w \\ 0 & 1 & -l/2 \\ 1 & 0 & w \\ 0 & 1 & l/2 \\ 1 & 0 & -w \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (6)$$

Untuk kecepatan translasi V_i dari setiap roda didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$V_1 = \sqrt{V_{1x}^2 + V_{1y}^2} \quad (7)$$

$$V_2 = \sqrt{V_{2x}^2 + V_{2y}^2} \quad (8)$$

$$V_3 = \sqrt{V_{3x}^2 + V_{3y}^2} \quad (9)$$

Sedangkan arah atau orientasi dari setiap roda digunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{V_{iy}}{V_{ix}} \right) \quad (10)$$

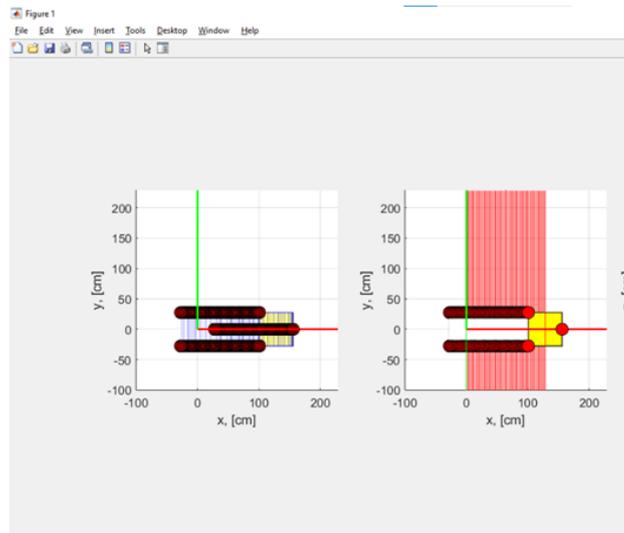
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kinematika Menggunakan MATLAB



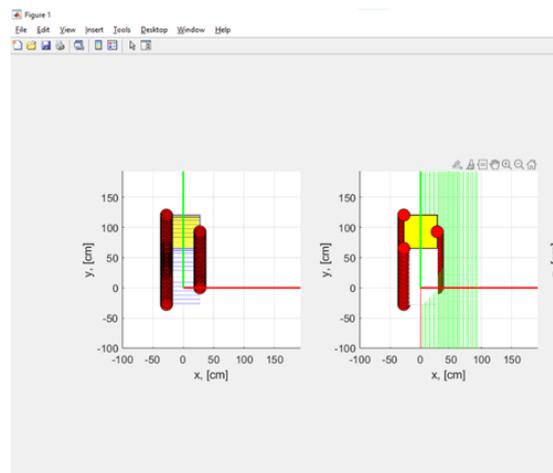
Pengujian kinematika pada sistem three-wheel swerve drive menggunakan MATLAB merupakan langkah krusial sebelum implementasi pada robot fisik. Melalui simulasi di MATLAB, kita dapat memodelkan dan menganalisis gerakan serta respons sistem terhadap berbagai input kontrol. Hal ini memungkinkan kita untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan potensi masalah teknis, mengoptimalkan parameter kontrol, dan memastikan bahwa desain kinematika berfungsi sebagaimana mestinya.

Selain itu, simulasi ini membantu mengurangi risiko kesalahan dan kerusakan selama tahap implementasi fisik, mempercepat proses pengembangan, dan meningkatkan keandalan robot secara keseluruhan. Pengujian ini melibatkan beberapa tahapan utama, termasuk definisi parameter kinematika, pemodelan sistem kinematika, implementasi model di MATLAB, simulasi gerakan translasi. Pada pengujian pertama yaitu gerak translasi dari robot dengan diberikan masukan yaitu kecepatan pada sumbu x sebesar 30cm/s.



Gambar 3. Hasil Pengujian Masukan $v_x=30\text{cm/s}$.

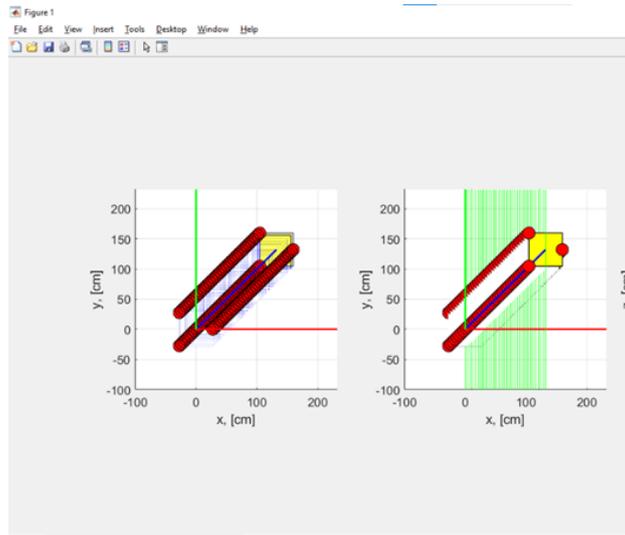
Gambar 3 menunjukkan hasil dari simulasi pengujian kinematika gerakan robot pada sumbu x, dengan masukan kecepatan sebesar 30 cm/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa robot bergerak dengan kecepatan konstan secara lurus pada sumbu x.



Gambar 4. Hasil Pengujian Masukan $v_y=30\text{cm/s}$.

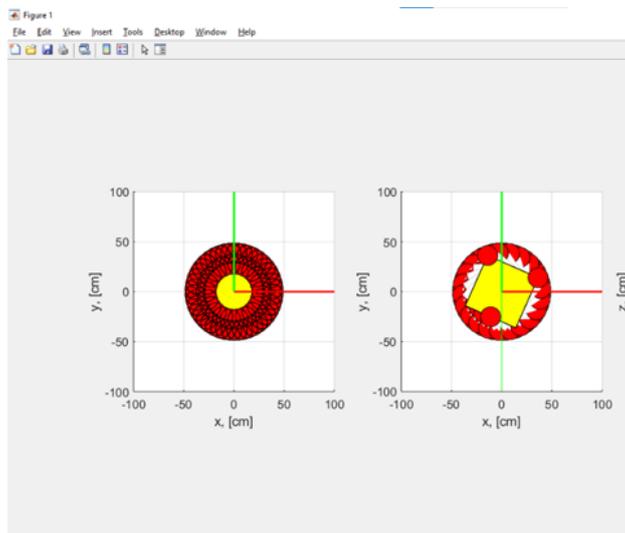


Selanjutnya, pada Gambar 4 merupakan hasil simulasi kinematika gerak robot pada sumbu y dengan memberikan masukan $v_y = 30\text{cm/s}$, di mana robot bergerak lurus secara konstan ke atas pada sumbu y. pengujian simulasi pada MATLAB selanjutnya yaitu dengan memberikan masukan $v_x = 30\text{cm/s}$ dan $v_y = 30\text{cm/s}$.



Gambar 5. Hasil Pengujian Masukan $v_x = 30\text{cm/s}$ dan $v_y = 30\text{cm/s}$

Gambar 5 menampilkan simulasi kinematika gerakan robot dengan desain three-wheel swerve drive. Dalam simulasi ini, robot diberi masukan berupa kecepatan linear sebesar 30 cm/s pada sumbu x (v_x) dan sumbu y (v_y). Hasil dari masukan tersebut menghasilkan gerakan diagonal pada robot dengan kecepatan yang konstan pada kedua sumbu x dan y. Simulasi menunjukkan bahwa pergerakan robot mengikuti lintasan lurus yang membentuk sudut 45 derajat terhadap sumbu x dan y.



Gambar 6. Hasil Pengujian Dengan $\omega_z = 30\text{cm/s}$

Gambar 6 menampilkan simulasi pergerakan robot di MATLAB dengan masukan laju rotasi sebesar $\omega_z = 30\text{ cm/s}$. Masukan ini menyebabkan robot berputar searah jarum jam. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol dan pemodelan kinematika yang diterapkan mampu menggerakkan robot sesuai arah rotasi yang diinginkan, sehingga simulasi ini dapat merepresentasikan respons gerak robot terhadap input rotasi secara nyata.



4. KESIMPULAN

Hasil dari pengujian respon pada simulasi robot swerve drive 3 roda menggunakan MATLAB dengan matrix kinematika sebagai pergerakan robot, pada hasil dari pengujian pertama yaitu robot bergerak secara translasi pada sumbu x dan y, robot bergerak secara diagonal membektuk sudut 45 derajat, dan robot bergerak secara berotasi pada sumbu yaw. Berdasarkan hasil simulasi, terlihat bahwa robot dapat menggerakkan dengan baik ke arah yang diinginkan menggunakan kontrol kinematika yang telah disiapkan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ingin menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan, dukungan, dan arahan yang tak ternilai selama proses penelitian ini. Terima kasih juga kepada keluarga dan teman-teman atas dukungan moral yang terus-menerus. Ucapan terima kasih ini juga ditujukan kepada semua rekan yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. B. I. Adinugraha, I. Siradjuddin, and L. Kamajaya, "Desain dan Kontrol Modular Independent Drive Independent Steering Mobile Robot Aktuator," *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, vol. 2, no. 3, pp. 144–150, Oct. 2023, doi: 10.33379/metrotech.v2i3.3349.
- [2] M. Nurul Achmadiah, A. anwar Rosyidin, A. Pracoyo, I. Siradjuddin, D. A. Permatasari, and G. Al Azhar, "Desain permodelan dan simulasi Field Oriented Control (FOC) menggunakan motor BLDC," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 3, pp. 361–368, Sep. 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i3.4416.
- [3] M. Haniff, H. M. Saputra, E. A. Zaki Hamidi, C. H. A. H. B. Baskoro, and S. A. Pratama, "Design and Control of Swerve Drive Mechanism for Autonomous Mobile Robot," in *2022 16th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, IEEE, Oct. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/TSSA56819.2022.10063871.
- [4] I. Siradjuddin, S. Wibowo, and A. A. Rofiq, "Pemodelan dan simulasi kinematika robot swerve 4 roda," *JURNAL ELTEK*, vol. 20, no. 1, p. 42, Aug. 2022, doi: 10.33795/eltek.v20i1.301.
- [5] B. Y. Suprpto, S. Dwijayanti, and D. Amri, "Development of a Position Control System for Wheeled Humanoid Robot Movement Using the Swerve Drive Method Based on Fuzzy Logic Type-2," *Elektronika ir Elektrotehnika*, vol. 30, no. 1, pp. 4–13, Feb. 2024, doi: 10.5755/j02.eie.35912.
- [6] Jeffrey Carothers, "Design of a Triple Singularity Drive for Mobile Wheeled Robots," Massachusetts Institute of Technology, 2014.
- [7] E. H. Binugroho, A. Setiawan, Y. Sadewa, P. H. Amrulloh, K. Paramasastra, and R. W. Sudiby, "Position and Orientation Control of Three Wheels Swerve Drive Mobile Robot Platform," in *2021 International Electronics Symposium (IES)*, IEEE, Sep. 2021, pp. 669–674. doi: 10.1109/IES53407.2021.9593947.
- [8] Arif Rahman Hakim, Sumardi Sumardi, and Munawar Agus Riyadi, "KONTROL POSISI PADA SISTEM PERGERAKAN MOBILE ROBOT RODA MEKANUM MENGGUNAKAN KONTROL PID BERBASIS INVERS KINEMATIC," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 4, pp. 463–470, Nov. 2015.
- [9] M. J. C. Manullang, M. K. D. Hardhienata, and K. Priandana, "Kendali Robot Beroda Otonom dengan Inverse Kinematics," *Jurnal Ilmu Komputer dan Agri-Informatika*, vol. 7, no. 1, pp. 62–73, May 2020, doi: 10.29244/jika.7.1.62-73.
- [10] R. Ria, "Penerapan Inverse Kinematics pada Pengendalian Gerak Robot Lego," *Journal of Applied Electrical Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, Dec. 2018, doi: 10.30871/jaee.v2i1.1075.

