

# Implementasi Persamaan Forward dan Inverse Kinematic pada Mobile Robot Asimetris Beroda 4 Omni Wheels

Muhammad Royhan Darmawan<sup>1</sup>, Fitri<sup>2</sup>, Indrazno Siradjuddin<sup>3</sup>

e-mail: [royhandarmawan@gmail.com](mailto:royhandarmawan@gmail.com), [fitri@polinema.ac.id](mailto:fitri@polinema.ac.id), [indrazno@polinema.ac.id](mailto:indrazno@polinema.ac.id)

<sup>1-3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

## Informasi Artikel

### Riwayat Artikel

Diterima 23 Desember 2022  
Direvisi 20 Februari 2023  
Diterbitkan 31 Juli 2023

### Kata kunci:

Omnidirectional  
Odometry  
Rotary Encoder

### Keywords:

Omnidirectional  
Odometry  
Rotary Encoder

### Penulis Korespondensi:

Muhammad Royhan Darmawan  
Jurusan Teknik Elektro,  
Politeknik Negeri Malang,  
Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang,  
Jawa Timur, Indonesia, 6541.  
Email: [royhandarmawan@gmail.com](mailto:royhandarmawan@gmail.com)  
Nomor HP/WA aktif: +62 822-991-89444

## ABSTRAK

Robot omni wheels adalah mobile robot yang dapat bergerak ke segala arah dalam bidang kartesian  $x$  dan  $y$  tanpa harus berbelok atau memutar arah badannya. Pada umumnya mobile robot menggunakan sistem penggerak simetris, yaitu penempatan dari masing-masing roda membentuk bangun simetris, sedangkan dengan menggunakan sistem penggerak simetris tersebut penempatan actuator dan komponen tidak memungkinkan, sehingga pada penelitian ini menggunakan sistem penggerak asimetris. Penempatan roda yang asimetris memungkinkan user untuk menempatkan actuator dan komponen sesuai dengan yang di inginkan. Dengan mengimplementasikan persamaan *forward* dan *inverse kinematic* memungkinkan robot *omni wheels* dapat bergerak ke titik tujuan tertentu terhadap area yang dijadikan prefensi. Robot menggunakan sistem penggerak asimetris beroda 4 untuk dengan sudut arah  $\alpha_1=25^\circ$ ,  $\alpha_2=155^\circ$ ,  $\alpha_3=-45^\circ$ , dan  $\alpha_4=-135^\circ$ . Dengan penguatan  $\lambda=4$  dan normalisasi error sebesar 0.05m, didapatkan nilai error posisi rata-rata yaitu  $x=1\%$ ,  $y=1.8\%$ , dan  $\theta=5.92\%$ . Dari hasil pengujian yang dilakukan, robot dapat bergerak mencapai titik tujuan dengan hasil trajectory robot, respon kecepatan putar roda robot, dan error posisi robot dengan respon yang bagus dan sesuai yang diharapkan.

## ABSTRACT

*Omni wheels robot is a mobile robot that can move in all directions in the  $x$  and  $y$  cartesian plane without having to turn or rotate its body. In general, mobile robots use a symmetrical drive system, namely the placement of each wheel to form a symmetrical shape, while using a symmetrical drive system the placement of actuators and components is not possible, so in this paper an asymmetrical drive system was used. Asymmetrical wheel placement allows the user to place actuators and components as desired. By implementing forward and inverse kinematic sales, it allows the omni wheels robot to move to a certain destination point in the preferred area. The robot uses a 4-wheeled asymmetric drive system for angles  $\alpha_1=25^\circ$ ,  $\alpha_2=155^\circ$ ,  $\alpha_3=-45^\circ$ , dan  $\alpha_4=-135^\circ$ . By amplifying  $\lambda=4$  and normalizing the error of 0.05m, the average position error values are  $x=1\%$ ,  $y=1.8\%$ , and  $\theta=5.92\%$ . From the results of the tests carried out, the robot can move to reach the destination point with the results of the trajectory of the robot, the response of the rotational speed of the robot wheels, and the error in the position of the robot with a good response and as expected.*



## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan sains yang semakin pesat memberikan dampak yang signifikan bagi kehidupan manusia, salah satunya dalam bidang *mobile robot*. Teknologi *mobile robot* saat ini sudah banyak diaplikasikan untuk berbagai bidang, seperti industri, kesehatan, militer, pendidikan, eksplorasi lingkungan, misi penyelamatan, maupun membantu kegiatan manusia sehari-hari. Salah satu contoh *mobile robot* adalah robot beroda yang memiliki banyak parameter, sehingga mampu merubah persamaan kontrol kinematiknya terutama pada kontrol kinematik untuk robot beroda dengan jenis roda *omnidirectional*, baik dari segi jenis roda yang digunakan hingga jumlah roda penggerak yang digunakan oleh karena itu diperlukan suatu persamaan kinematik yang general [5]. Kontrol kinematik digunakan agar robot dapat bergerak ke titik yang dituju [7]. Kinematika robot sangat penting untuk mendefinisikan arah dan kecepatan robot [10]. Pada *mobile robot* beroda *omnidirectional*, gerakan terbagi menjadi gerakan translasi menuju sumbu  $x$ ,  $y$  dan gerakan rotasi sumbu  $z$ .

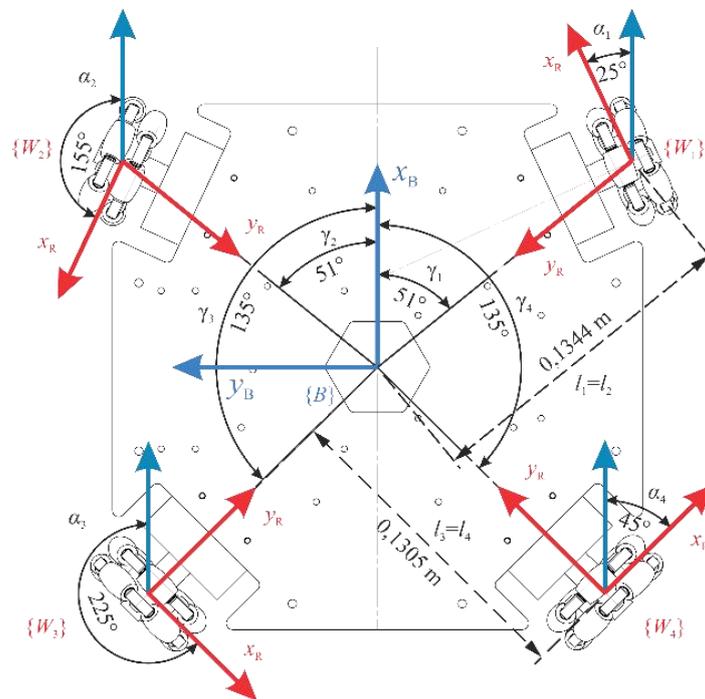
Pada penelitian 2021, robot beroda 4 *omnidirectional* dapat bergerak mencapai tujuan nilai faktor penguat error ( $\lambda$ ) = 25, dan berdasarkan hasil robot mampu meningkatkan kemampuan robot untuk bergerak cepat pada lapangan [4]. Pada robot beroda 3 *omnidirectional* didapatkan hasil bahwa aplikasi kontrol kinematik pada mobile robot dapat mengendalikan pergerakan robot ke titik tertentu [7]. Pada penelitian-penelitian terdahulu belum ada yang menggunakan base robot asimetris, sehingga pada penilitan ini dirancang sebuah *mobile robot* dengan base robot asimetris.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah untuk merancang sebuah mobile robot dengan bentuk base asimetris, asimetris yang dimaksud adalah penempatan dan sudut roda yang asimetris. Mobile robot beroda 4 asimetris ini juga digunakan untuk modul pembelajaran pada laboratorium Robotika, Program Studi Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Forward dan Inverse Kinematic

Mekanisme robot asimetris dengan 4 buah roda *omni wheels*, dimana asimetris yang dimaksud adalah nilai dari 2 sudut  $\alpha_i$  yang berbeda, spesifikasi robot sebagai berikut :



Gambar 1: Spesifikasi robot dengan konfigurasi 4 roda



Berdasarkan Gambar 1: dan spesifikasi *omni wheels*, didapatkan beberapa nilai yang dapat dimasukkan pada parameter dari persamaan *forward* dan *inverse kinematic* sebagai berikut :

TABEL I : SPESIFIKASI PARAMETER PADA ROBOT ASIMETRIS BERODA 4

Roda <sub>i</sub>	Sudut $\alpha_i$	Sudut $\gamma_i$	l (m)	r (m)
W <sub>1</sub>	25	51	0.1355	0.03
W <sub>2</sub>	155	51	0.1355	0.03
W <sub>3</sub>	-45	-45	0.1355	0.03
W <sub>4</sub>	-135	-135	0.1355	0.03

dimana :

- $\alpha_i$  = sudut yang dibentuk antara sumbu x body robot ( $x_B$ ) dengan sumbu x roda ( $x_R$ ) (rad)
- $\gamma_i$  = sudut yang dibentuk antara sumbu x body robot dengan titik perpotongan antara sumbu y roda dengan titik tengah body robot (rad)
- l = jarak titik tengah robot dengan titik roda (m)
- r = jari-jari roda pada robot (m)

Pada umumnya kecepatan translasi  $v_d$  roda adalah hasil perhitungan dari kecepatan angular roda  $u_i$  dengan jari-jari roda r, yaitu

$$u_i = \frac{v_d}{r} \tag{1}$$

Sehingga untuk persamaan kontrol kecepatan angular dari roda ke- i dari robot dapat dituliskan sebagai fungsi  $g_i(\theta)$ , yaitu

$$g_i(\theta) = \frac{1}{r} (\cos(\alpha_i) \sin(\alpha_i) l (\cos \cos(\gamma_i) \sin(\alpha_i) - (\sin(\gamma_i) \cos(\alpha_i))) )^T \tag{2}$$

dimana kontrol  $g_i(\theta)$  merupakan persamaan untuk mengontrol roda ke- i saja, untuk mengontrol 4 roda didapatkan sebuah matriks invers jacobian yang disimbolkan dengan  $RJ_R^{-1}$

$$RJ_R^{-1} = \frac{1}{r} [\cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) \cos(\alpha_3) \cos(\alpha_4) \sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) \sin(\alpha_3) \sin(\alpha_4) l_1 l_2 l_3 l_4 ] \tag{3}$$

Selain bergerak dengan kecepatan roda masing masing, robot juga berpindah tempat dari titik acuannya (*global frame*). *Inverse kinematic* ( $\omega_R$ ) digunakan untuk mencari estimasi kecepatan putar masing-masing roda robot untuk berpindah tempat dari posisi awal menuju posisi tujuan. Posisi robot terhadap *global frame* dinotasikan  $gX_R$ , sehingga dapat diturunkan terhadap waktu  $g\dot{X}_R$ . Untuk mendapatkan nilai  $\omega_R$ , perlu mengalikan  $g\dot{X}_R$  dengan matriks rotasi terhadap *global frame*  $gRot_R^{-1}$  dan (3). Persamaan *inverse kinematic* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\omega_R = gRot_R^{-1} \cdot RJ_R^{-1} \cdot g\dot{X}_R \tag{4}$$

$$\begin{aligned} & [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4 ]^T \omega_R \\ & = \frac{1}{r} [-\cos(\theta) \ \sin(\theta) \ 0 \ \sin(\theta) \ \cos(\theta) \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 ]^T gRot_R^{-1} [\cos(\alpha_1) \ \cos(\alpha_2) \ \cos(\alpha_3) \ \cos(\alpha_4) \ \sin(\alpha_1) \ \sin(\alpha_2) \ \sin(\alpha_3) \ \sin(\alpha_4) ] \end{aligned} \tag{5}$$

$$\omega_R = J_R^{-1} \cdot g\dot{X}_R \tag{6}$$



dengan memasukkan nilai-nilai parameter seperti yang ada pada TABEL I pada (6) maka didapatkan persamaan matematisnya sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 & [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ \omega_4] \\
 & = \frac{1}{0.03} [\cos(\theta) \ \sin(\theta) \ 0 \ -\sin(\theta) \ \cos(\theta) \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] [\cos(25) \ \cos(155) \ \cos(-135) \ \cos( \\
 & -45) \ \sin(51) \ \sin(51) \ \sin(135) \ \sin(135) \ 0.1334 \ 0.1334 \ 0.1305 \ 0.1305] [R\dot{x}_R \ R\dot{y}_R \ R\dot{\theta}_R] \quad (7)
 \end{aligned}$$

Keluaran dari persamaan *inverse kinematic* ( $\omega_R$ ) digunakan sebagai masukan dari persamaan *forward kinematic* untuk mendapatkan nilai kecepatan perpindahan posisi dan orientasi robot. Maka perlu mengalikan masing-masing sisi (6) dengan adjoint dari  $J_R$  sehingga didapatkan persamaan *forward kinematic*

$$\omega_R = J_R^{-1} \cdot g\dot{X}_R \quad (8)$$

$$J_R \cdot \omega_R = J_R \cdot J_R^{-1} \cdot g\dot{X}_R \quad (9)$$

$$g\dot{X}_R = J_R \cdot \omega_R \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 & [g\dot{x}_R \ g\dot{y}_R \ g\dot{\theta}_R] \overset{\sim}{=} g\dot{X}_R \\
 & = r [\cos(\theta) \\
 & -\sin(\theta) \ 0 \ \sin(\theta) \ \cos(\theta) \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] \left[ \cos(\alpha_1) \ \sin(\alpha_1) \ \frac{1}{l} \ \cos(\alpha_2) \ \sin(\alpha_2) \ \frac{1}{l} \ \cos(\alpha_3) \ \sin(\alpha_3) \ \frac{1}{l} \ \cos(\alpha_4) \ \sin(\alpha_4) \right] \quad (11)
 \end{aligned}$$

## 2.2. Diagram Blok Sistem

Pada diagram blok sistem yang terdapat pada Gambar 2 terdapat 3 blok yaitu input, proses dan output.

- Input

Sensor kompas digunakan untuk mengetahui arah hadap dan sudut rotasi robot terhadap sumbu z. *Rotary Encoder* digunakan untuk mengetahui kecepatan sudut roda, dengan cara menghitung jumlah Ppr (*Pulse per revolution*) dalam durasi waktu tertentu. *Push button* digunakan untuk memilih fitur atau mode lainnya pada robot.

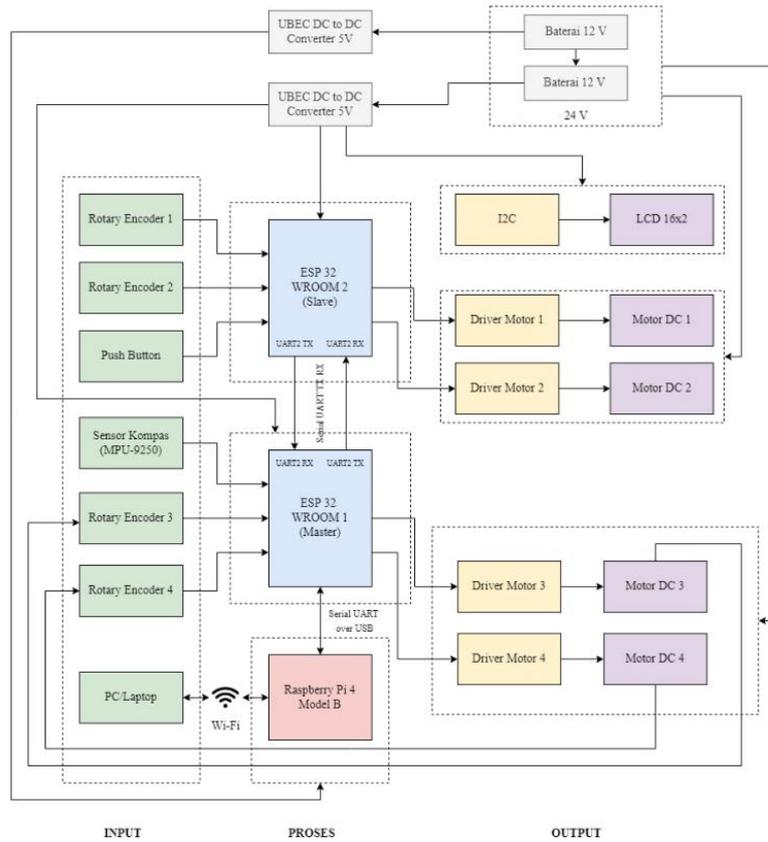
- Proses

Dalam sistem proses, menggunakan protokol komunikasi UART atau Serial untuk menghubungkan ESP32 dan Raspberry Pi 4, pada kedua ESP32 tersebut Raspberry Pi 4 digunakan untuk memproses perhitungan kinematik robot. Raspberry Pi 4 berkomunikasi dengan ESP32 menggunakan protokol komunikasi UART untuk mengendalikan masing-masing motor melalui driver. Dalam sistem proses ini menggunakan rangkaian *step down* dari baterai sebagai sumber tegangannya.

- Output

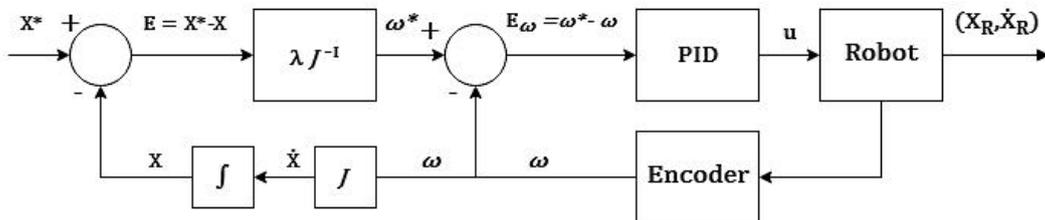
Pada sistem output ini menggunakan baterai 2200mAh sebagai sumber tegangannya. Driver Motor digunakan untuk mengubah sinyal PWM dari Mikrokontroler menjadi tegangan DC untuk supply motor. Driver ini juga bisa digunakan sebagai rangkaian *Full H-Bridge* untuk memutar motor CW, CCW, dan pengereman serta mengendalikan kecepatan motor. Motor DC digunakan untuk menggerakkan roda omni wheels. LCD digunakan untuk menampilkan data dari hasil pembacaan sensor dan fitur-fitur lainnya.





Gambar 2: Blok diagram sistem

### 2.3. Diagram Blok Kontrol



Gambar 3: Blok kontrol sistem

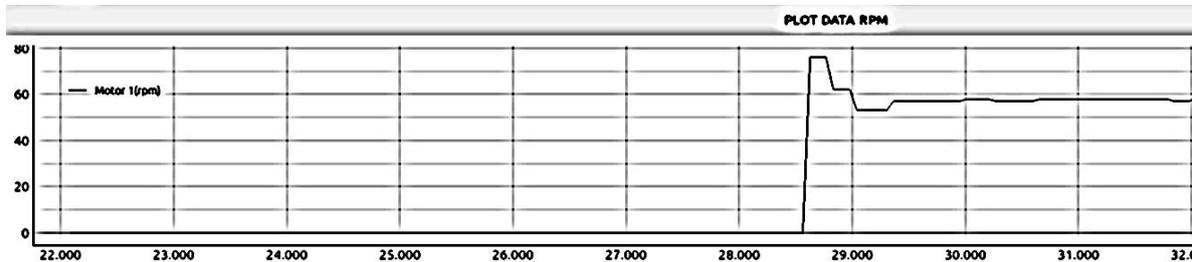
$X^*$  ( $x^*, y^*, \theta^*$ ) adalah set point posisi/titik tujuan robot,  $X(x, y, \theta)$  adalah posisi awal/posisi robot saat ini, Kemudian dilakukan perhitungan  $E = X^* - X$ , sehingga didapatkan nilai error. Untuk dapat mengurangi nilai error yang dihasilkan dengan bentuk atau sifat eksponensial, maka perlu mengalikan dengan  $\lambda$ . Terdapat perhitungan *inverse kinematic*  $\omega^* = J^{-1} \cdot \lambda(X^* - X)$ , dihasilkan  $\omega^*$  yang merupakan set point atau kecepatan roda robot yang diinginkan dan dalam satuan RPM. Untuk menstabilkan dan mengurangi error pada kecepatan roda maka diperlukan kontrol PID dalam kontrol *close-loop*. Nilai kecepatan roda tersebut digunakan untuk menggerakkan robot ke posisi tujuan, Encoder akan membaca putaran roda setiap robot melakukan perpindahan posisi, hasil dari pembacaan sensor Encoder adalah kecepatan roda actual ( $\omega$ ),  $\omega$  digunakan untuk perhitungan  $E_\omega$ , dan juga sebagai feedback ke perhitungan *forward kinematic*  $\dot{X} = J \cdot \omega$  untuk mendapatkan nilai  $\dot{X}$  yang merupakan kecepatan posisi robot ( $\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta}$ ).  $\dot{X}$  diintergralkan untuk mendapatkan posisi robot aktual ( $X$ ) berupa ( $x, y, \theta$ ). Hasil dari blok diagram kontrol ini adalah  $\dot{X}, X$  yang merupakan kecepatan posisi dan posisi robot yang di inginkan.



### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pengujian Kontrol PID Motor DC PG-28

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon dan kestabilan motor ketika diberikan kontrol PID terhadap masing-masing motor. Metode yang digunakan untuk pengujian merupakan metode *trial and error* yang dimaksud adalah dengan cara melakukan beberapa kali percobaan dalam menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  hingga putaran motor dapat stabil pada set point yang telah ditentukan. Pada pengujian ini setpoint yang digunakan adalah 60 RPM. Berikut adalah hasil dari pengujian kontrol PID pada motor.

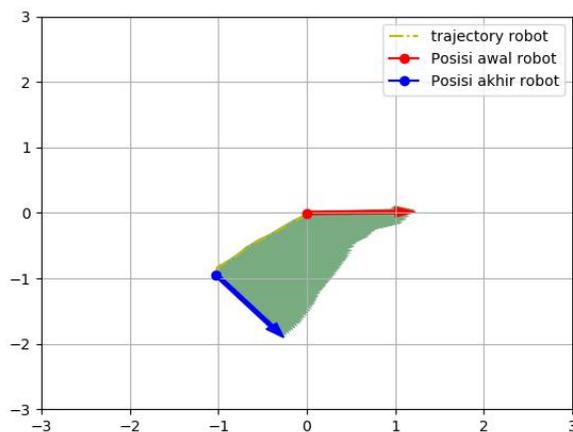


Gambar 4: Pengujian kontrol PID pada Motor DC dengan nilai  $K_p = 0.65$ ,  $K_i = 5.9$ , dan  $K_d = 0,14$

Dikarenakan spesifikasi dari motor yang sama maka untuk penentuan nilai konstanta semua motor disamakan yaitu dengan  $K_p = 0.65$ ,  $K_i = 5.9$ , dan  $K_d = 0,14$ . Pada Gambar 4: didapatkan respon sistem yang cukup stabil.

#### 3.2. Pengujian Forward dan Inverse Kinematic dengan koordinat tujuan $X^* (-1.0, -1.0, -45^\circ)$

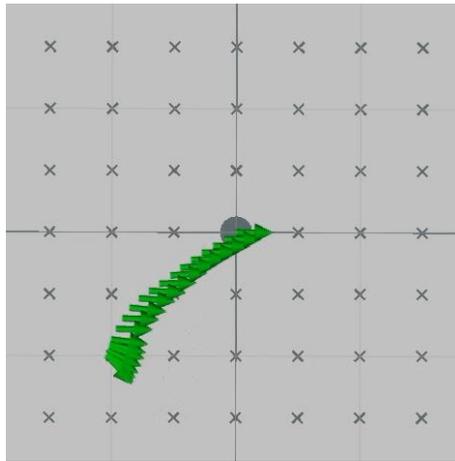
Pada pengujian ini robot diletakkan pada posisi awal dengan koordinat  $x = 0.0$ ,  $y = 0.0$ ,  $\theta = 0^\circ$ , dan posisi tujuan dengan koordinat  $x^* = -1.0$ ,  $y^* = -1.0$ ,  $\theta^* = -45^\circ$ .



Gambar 5: Hasil pengujian *real-time trajectory* robot dengan  $X^* (-1.0, -1.0, -45^\circ)$

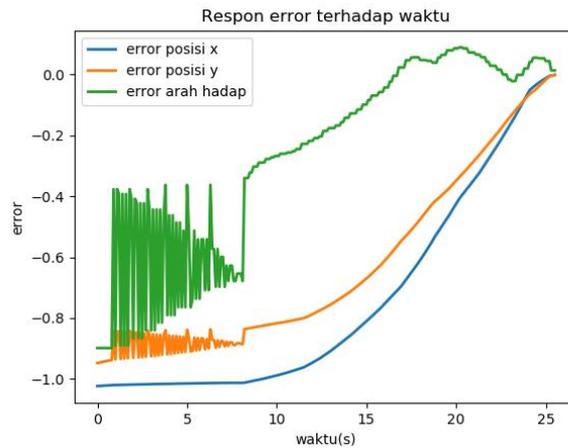
Pada Gambar 5 menunjukkan robot dapat bergerak dari posisi awal  $X(0.0, 0.0, 0^\circ)$  digambarkan dengan panah warna merah, menuju posisi tujuan  $X^*(-1.0, -1.0, -45^\circ)$  digambarkan dengan panah warna biru, serta proses perubahan posisi dan arah hadap robot digambarkan dengan panah warna hijau.





Gambar 6: *Real-time trajectory* robot dengan visualisasi RViz

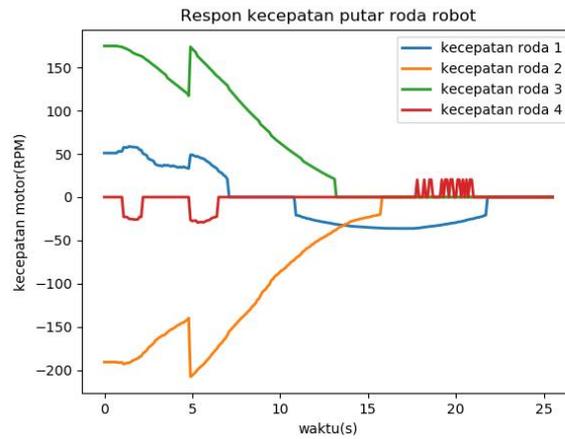
Pada Gambar 6 menunjukkan robot dapat bergerak dari posisi awal  $X(0.0, 0.0, 0^\circ)$  menuju posisi tujuan  $X^*(1.0, 1.0, 90^\circ)$ , proses perubahan posisi dan arah hadap robot digambarkan dengan panah warna hijau. Didapatkan posisi terakhir  $X(0.96, 0.98, 87^\circ)$ , sehingga didapatkan nilai error posisi  $E(0.04, 0.02, 3^\circ)$ . Dilihat dari nilai  $E$  sehingga dapat diasumsikan bahwa robot telah berhasil mencapai posisi tujuan dengan nilai error yang mendekati 0, dengan  $\lambda = 4$ . Visualisasi RViz digunakan untuk memonitoring trajectory tanpa harus mendekati ke lapangan, dan visualisasi *real-time trajectory* robot tersebut sama dengan aslinya yang ada pada lapangan.



Gambar 7: Respon error posisi dan arah hadap robot terhadap waktu

Pada Gambar 7 menunjukkan respon error posisi dan arah hadap robot terhadap waktu dengan nilai penguatan  $\lambda = 4$ , robot mampu menurunkan nilai error posisinya mendekati nilai 0 dengan sifat eksponensial. Semakin besar nilai  $\lambda$  maka kecepatan roda semakin cepat untuk mencapai posisi tujuan, namun pergerakan semakin tidak presisi. Pada Gambar 8 menunjukkan respon kecepatan putar tiap roda robot ( $\omega$ ), dalam kurun waktu 25.5 detik motor untuk menggerakkan masing-masing roda telah berhenti bergerak dengan nilai RPM mendekati 0, sehingga dapat diasumsikan robot telah mencapai posisi tujuan.





Gambar 8: Respon kecepatan putar robot terhadap waktu

TABEL II : SPESIFIKASI PARAMETER PADA ROBOT ASIMETRIS BERODA 4

Posisi Tujuan			Posisi Aktual			Error Posisi			Presentase Error		
$x^*$	$y^*$	$\theta^*$	$x$	$y$	$\theta$	$x$	$y$	$\theta$	$x$	$y$	$\theta$
-1.0	-1.0	-45°	-1.02	-0.95	-51°	0.02	0.05	6°	2%	5%	13.34%
-1.0	-1.0	-45°	-1.0	-1.0	-47°	0	0	2°	0%	0%	4.45%
-1.0	-1.0	-45°	-0.99	-0.98	-43.5°	0.01	0.01	1.5°	1%	1%	3.34%
-1.0	-1.0	-45°	-0.98	-0.99	-43.8°	0.02	0.02	1.2°	2%	2%	2.67%
-1.0	-1.0	-45°	-1.0	-0.99	-47.6°	0	0.01	2.6°	0%	1%	5.78%
Rata-rata nilai error									1%	1.8%	5.92%

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan sebanyak 5 kali dengan menggunakan normalisasi error sebesar 0.05m, berdasarkan TABEL II sehingga didapatkan rata-rata error posisi sebesar  $x = 1%$ ,  $y = 1.8%$ , dan  $\theta = 5.92%$ .

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tuning parameter kontrol PID dengan metode *trial and error* didapatkan respon sistem yang cukup stabil untuk masing-masing motor dengan  $K_p = 0.65$ ,  $K_i = 5.9$ , dan  $K_d = 0.14$ .
2. Trajectory robot, respon kecepatan putar roda robot, dan error posisi robot terhadap titik tujuan dapat dikatakan sesuai yang diharapkan. Dengan  $\lambda = 4$  dan normalisasi error posisi = 0.05m, didapatkan nilai error posisi rata-rata yaitu  $x = 1%$ ,  $y = 1.8%$ , dan  $\theta = 5.92%$ . Pada kenyataannya, ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari pergerakan robot, faktor tersebut diantaranya selip pada roda encoder pembacaan odometry, sifat aktuator yang tidak ideal, serta kecepatan pemrosesan data, sehingga pada pembacaan data dengan aslinya dapat berbeda.
3. Visualisasi Rviz digunakan untuk memonitoring pergerakan dan posisi robot tanpa harus ke lapangan. Dimensi dan visualisasi RViz telah sesuai dengan track lapangan yang aslinya, sehingga pengujian secara real-time menggunakan visualisasi RViz telah sesuai dengan pengujian pada lapangan aslinya.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Sofwan, H. R. Mulyana, H. Afrisal, and A. Goni, "Development of omni-wheeled mobile robot based-on inverse kinematics and odometry," *2019 6th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. ICITACEE 2019*, pp. 143–148, 2019, doi: 10.1109/ICITACEE.2019.8904418.



- [2] D. U. Rijalusalam and I. Iswanto, "Implementation kinematics modeling and odometry of four omni wheel mobile robot on the trajectory planning and motion control based microcontroller," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 5, pp. 448–455, 2021, doi: 10.18196/jrc.25121.
- [3] F. Fahmizal, D. U. Rijalussalam, M. Budiyanto, and A. Mayub, "Trajectory Tracking pada Robot Omni dengan Metode Odometry," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 8, no. 1, p. 35, 2019, doi: 10.22146/jnteti.v8i1.488.
- [4] I. Fadhila, I. Siradjuddin, and R. I. Putri, "Trajectory Tracking Robot Omnidirectional 4 Roda Dengan Visualisasi Rviz," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 2, p. 90, 2022, doi: 10.33795/elk.v9i2.302.
- [5] I. Siradjuddin, G. Al Azhar, A. Murdani, and M. L. M. Faizin, "Desain dan pemodelan kontrol kinematik pergerakan robot beroda dengan menggunakan 6 roda omni-wheels," *J. Eltek*, vol. 18, no. 1, p. 116, 2020, doi: 10.33795/eltek.v18i1.226.
- [6] I. Siradjuddin, G. Al Azhar, S. Wibowo, F. Ronilaya, C. Rahmad, and E. Rohadi, "A general inverse kinematic formulation and control schemes for omnidirectional robots," *Eng. Lett.*, vol. 29, no. 4, pp. 1344–1358, 2021.
- [7] M. F. Al Fattika, T. Winarno, and I. Siradjuddin, "Collision Avoidance pada Mobile Robot Menggunakan Kontrol Kinematik," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 3, p. 161, 2022, doi: 10.33795/elk.v9i3.316.
- [8] M. F. K. Awaludin, T. Winarno, and I. Siradjuddin, "Motion Planning Robot dengan Kontrol Kinematik," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 2, p. 30, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i2.273.
- [9] P. W. A. Sucipto and A. Firasanti, "Pengendali PID untuk Pengaturan Kecepatan Gerak Robot Omnidireksional Tiga Roda," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 6, no. 1, pp. 66–74, 2020, doi: 10.15575/telka.v6n1.66-74.
- [10] R. L. Putra, H. K. Safitri, and I. Siradjuddin, "Pemodelan dan Analisis Sistem Kontrol Kinematik," *J. ELKOLIND*, vol. 2, no. 1, pp. 80–87, 2015.
- [11] R. Zamronnan, T. Winarno, and E. Mandayatma, "Kontrol Posisi Sistem Pergerakan Mobile Robot Berbasis Analisa Kinematik," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 7, no. 1, p. 77, 2021, doi: 10.33795/elkolind.v7i1.183.
- [12] Z. Abror, I. Siradjuddin, and S. Sungkono, "Trajectory Tracking pada Robot Omnidirectional dengan 4 Penggerak Mekanum Menggunakan Metode Odometry Berbasis MyRIO," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 1, p. 47, 2022, doi: 10.33795/elk.v9i1.293.

