

Navigasi Berbasis Koordinat dengan Penghindaran Rintangan untuk Robot Omnidireksional

Septian Setiawan^{1*}, Elang Derdian Marindani¹, Bomo Wibowo Sanjaya¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat, Indonesia
E-mail: septiansetiawan03@gmail.com

Naskah Masuk: 02 Mei 2024; Diterima: 09 Agustus 2024; Terbit: 31 Agustus 2024

ABSTRAK

Abstrak - Penelitian ini berfokus pada merancang sistem navigasi untuk robot omnidireksional dalam koordinat kartesian, mengintegrasikan odometri dan metode medan potensial untuk menghindari rintangan. Metode odometri menggunakan rotary encoder pada setiap roda untuk memantau rotasi, memperkirakan perubahan posisi robot dalam koordinat x dan y. Metode medan potensial menciptakan sistem penghindaran rintangan dinamis, memungkinkan robot untuk bergerak mengelilingi rintangan sambil tetap mempertahankan arahnya menuju koordinat yang ditentukan. Orientasi robot dilacak secara akurat menggunakan kompas digital yang terintegrasi dengan metode odometri, meningkatkan ketepatan estimasi posisi. Pengujian kinerja meliputi pergerakan bebas rintangan, pergerakan dengan rintangan, dan pembentukan pola seperti persegi, baik dengan maupun tanpa rintangan. Hasil pengujian menunjukkan Mean Absolute Error (MAE) maksimum sebesar 0,130 m pada sumbu x dan 0,134 m pada sumbu y, menunjukkan akurasi yang memuaskan. Penggabungan metode odometri dan potential field pada penelitian ini meningkatkan kemampuan navigasi dari robot dibandingkan penelitian serupa sebelumnya yang hanya menggunakan satu metode.

Kata kunci: Odometri, Navigasi Medan Potensial, Robot Omnidireksional, Trajectory Robot

ABSTRACT

Abstract - This study focuses on designing a navigation system for an omnidirectional robot in Cartesian coordinates, integrating odometry and potential field methods for obstacle avoidance. The odometry method uses rotary encoders on each wheel to monitor rotation, estimating changes in the robot's position in x and y coordinates. The potential field method creates a dynamic obstacle avoidance system, enabling the robot to navigate around obstacles while maintaining its course towards specified coordinates. The robot's orientation is accurately tracked using a digital compass integrated with the odometry method, enhancing position estimation precision. Performance testing covers obstacle-free movement, movement with obstacles, and pattern formations like squares, both with and without obstacles. Test results show a maximum Mean Absolute Error (MAE) of 0.130 m on the x-axis and 0.134 m on the y-axis, indicating satisfactory accuracy. The integration of odometry and potential field methods in this study enhances the navigation capabilities of the robot compared to previous similar research that only utilized one method.

Keywords: Odometry, Potential Field Navigation, Omnidirectional Robot, Trajectory Robot

Copyright © 2024 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi memiliki dampak signifikan pada kehidupan manusia, mendorong eksplorasi dan kemajuan di berbagai bidang pengetahuan. Salah satu perkembangan yang luar biasa adalah munculnya robotika sebagai kontributor penting dalam lanskap yang selalu berkembang ini. Inovasi robotika yang beragam terus mengatasi aspek penting seperti konservasi energi dan efisiensi waktu. Sebuah robot mencapai fungsionalitas optimal ketika dapat bergerak dengan lancar ke segala arah tanpa memerlukan belokan atau penyesuaian arah.

Namun, tantangan besar dalam bidang robotika berkaitan dengan meningkatkan mobilitas sistem-sistem robotik ini. Navigasi robot umumnya mengadopsi jenis kendali diferensial, yang memiliki mobilitas terbatas. Meskipun mampu bergerak maju dan berbelok, kedua tindakan tersebut tidak dapat terjadi ke segala arah dan termasuk dalam kategori robot non-holonom. Oleh karena itu, robot holonomik telah

dikembangkan, terutama robot omnidireksional, yang memiliki kemampuan untuk bergerak ke segala arah tanpa memerlukan perhatian khusus terhadap orientasi robot [1]–[3].

Dalam navigasi untuk menentukan posisinya, metode odometri digunakan. Pendekatan ini melibatkan penggunaan *rotary encoder* pada setiap roda untuk mengukur rotasi roda dan menentukan posisi relatif robot terhadap posisi sebenarnya dalam koordinat sumbu x dan y [2], [4], [5]. Untuk meningkatkan ketepatan gerakan robot dan mempertahankan orientasinya, sensor kompas digital ditambahkan dan diintegrasikan ke dalam sistem odometri. Dengan integrasi ini, robot dapat menentukan posisinya dengan lebih akurat dan mempertahankan orientasinya selama pergerakan. Kombinasi ini memberikan kemampuan navigasi yang lebih efisien dan handal, memungkinkan robot tetap fokus pada tujuan koordinat sambil mengatasi tantangan perubahan orientasi selama perjalanannya.

Robot omnidireksional sering menghadapi tantangan dalam menghindari tabrakan selama navigasi, yang muncul dari perubahan lingkungan tiba-tiba atau rintangan yang sebelumnya tidak terdeteksi. Metode medan potensial, terutama ketika diintegrasikan dengan sensor ultrasonik, terbukti efektif dalam mengatasi masalah ini. Metode ini menggunakan prinsip muatan listrik positif dan negatif, di mana muatan positif bergerak menjauh dari sumbernya, dan muatan negatif bergerak menuju sumbernya. Ketika muatan yang berlawanan bertemu, tarikan dan tolakan terjadi di antara mereka, mirip dengan dinamika yang terlibat dalam navigasi medan potensial [6].

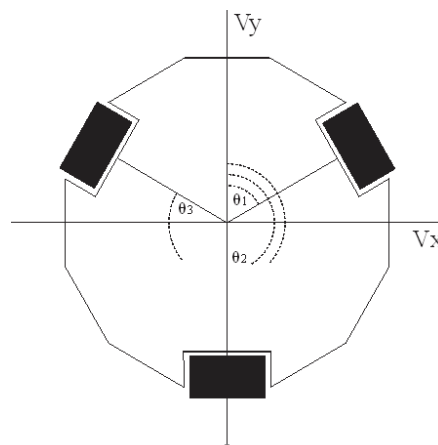
Dengan mengintegrasikan metode odometri dengan navigasi medan potensial, robot omnidireksional dapat bergerak secara efektif ke koordinat yang diinginkan sambil menghindari rintangan. Pendekatan ini meningkatkan ketepatan gerakan robot. Robot dapat bergerak secara efisien, memungkinkannya tetap fokus pada tujuan koordinat dan menghindari rintangan sepanjang perjalanannya.

Penelitian ini mengevaluasi pergerakan robot omnidireksional tiga roda menggunakan navigasi medan potensial dan odometri. Fokusnya adalah memahami efektivitas metode ini dalam mengoptimalkan jalur navigasi, menghindari tabrakan, dan meningkatkan akurasi gerakan. Navigasi medan potensial menciptakan jalur virtual dengan gaya dorong dan tarik, sementara odometri mengukur gerakan roda. Studi ini tidak hanya menilai kinerja masing-masing metode tetapi juga mengeksplorasi integrasi mereka untuk mendukung pengembangan teknologi robotik yang lebih efisien.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Kinematika dan Kinematika Balik Robot

Dalam fisika, kinematika adalah cabang matematika yang berurusan dengan gerak benda dan sistem benda tanpa mempertanyakan gaya yang menyebabkannya [2], [7], [8]. Dalam studi robot beroda, kinematika maju adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan kecepatan robot itu sendiri dalam bentuk (V_x , V_y , $V\theta$), sedangkan kinematika balik adalah lawannya, di mana hasil yang diperoleh dari kinematika balik adalah kecepatan masing-masing roda dalam bentuk (V_{m1} , V_{m2} , V_{m3}) [2], [9]. Gambar 1 menggambarkan sketsa robot omnidireksional dengan konfigurasi tiga roda membentuk sudut $\theta_1 = 30^\circ$, $\theta_2 = 150^\circ$, dan $\theta_3 = 270^\circ$ pada sumbu X.



Gambar 1. Konfigurasi roda robot omnidireksional

V_y mewakili kecepatan robot sepanjang sumbu y, V_x menunjukkan kecepatan robot sepanjang sumbu x, ω menunjukkan kecepatan rotasi robot, dan V_i mewakili kecepatan setiap roda. Kinematika maju dapat diperoleh dari sudut yang terbentuk antara roda-roda, seperti yang diungkapkan dalam Persamaan (1).

$$\begin{bmatrix} Vx \\ Vy \\ V\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \cos(\theta_2 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \cos(\theta_3 + \frac{\pi}{2} + \theta) \\ \sin(\theta_1 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \sin(\theta_2 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \sin(\theta_3 + \frac{\pi}{2} + \theta) \\ \frac{1}{L} & \frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad (1)$$

dan kinematika inversnya direpresentasikan oleh Persamaan (2).

$$\begin{bmatrix} Vm_1 \\ Vm_2 \\ Vm_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \sin(\theta_1 + \frac{\pi}{2} + \theta) & 1/L \\ \cos(\theta_2 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \sin(\theta_2 + \frac{\pi}{2} + \theta) & 1/L \\ \cos(\theta_3 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \sin(\theta_3 + \frac{\pi}{2} + \theta) & 1/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vx \\ Vy \\ V\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dengan θ_i mewakili sudut pemasangan roda, L sebagai jarak dari roda ke pusat robot, dan Vm_1 , Vm_2 , dan Vm_3 sebagai kecepatan masing-masing roda serta θ adalah sudut robot.

2.2. Odometri

Odometri adalah teknik untuk menentukan posisi dengan memanfaatkan data yang diperoleh dari gerakan aktuator. Perhitungan terus-menerus dari posisi terjadi sampai tujuan tercapai [9], [10]. Biasanya, odometri diterapkan untuk memperkirakan posisi relatif robot dengan memperhatikan lokasi awalnya. Posisi ini umumnya direpresentasikan dalam bentuk koordinat $[X \ Y \ \theta]^T$, diasumsikan sebagai matriks P. Dalam konteks ini, informasi dari sensor pengode *rotary* dapat dimanfaatkan untuk menghitung perubahan posisi robot. Misalkan informasi ini disajikan dalam bentuk matriks $[R_1 \ R_2 \ R_3]^T$, dengan R_i menunjukkan jumlah denyut dari setiap sensor pengode *rotary*, membentuk matriks R. Oleh karena itu, Persamaan (3) mengungkapkannya matriks P.

$$P = M \cdot R \quad (3)$$

Dalam konteks yang diberikan, disebutkan bahwa ada matriks 3x3, yang disebut sebagai M, yang menetapkan hubungan antara perubahan posisi dan informasi yang diberikan oleh sensor-sensor. Matriks ini M diungkapkan sebagai Persamaan (4).

$$M = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \cos(\theta_2 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \cos(\theta_3 + \frac{\pi}{2} + \theta) \\ \sin(\theta_1 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \sin(\theta_2 + \frac{\pi}{2} + \theta) & \sin(\theta_3 + \frac{\pi}{2} + \theta) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dalam informasi yang diberikan, disebutkan bahwa θ_i mewakili sudut pemasangan setiap pengode *rotary*, dan θ adalah sudut robot. Dengan asumsi robot menentukan orientasinya menggunakan sensor kompas digital, sebuah matriks $[0 \ 0 \ \theta]^T$, yang disebut sebagai matriks O, dapat dibangun. Dengan demikian, posisi robot dapat diungkapkan sebagai $P' = P + O$, di mana P' mewakili posisi lokal robot yang dikonfigurasi dengan sensor kompas digital. Untuk mentransformasikan posisi lokal ke posisi global robot, diperlukan matriks rotasi. Persamaan (5) dapat digunakan.

$$\begin{bmatrix} Xg \\ Yg \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.3. Navigasi Berdasarkan Medan Potensial

Pada tahun 1986, Khatib memperkenalkan metode medan potensial, yang terdiri dari dua jenis: medan potensial atraktif, yang membimbing robot menuju tujuan tertentu, dan medan potensial repulsif, yang mengarahkan robot menjauhi rintangan. Kombinasi dari kedua medan potensial ini memungkinkan robot untuk bergerak menuju tujuannya sambil menghindari rintangan [6], [10]. Pendekatan atraktif dalam metode medan potensial digunakan untuk mengarahkan robot ke posisi yang diinginkan. Oleh karena itu, Persamaan (6) dapat diterapkan.

$$[X_{att} \ Y_{att}]^T = \begin{cases} [0 \ 0]^T & d < r \\ [\alpha(d-r)\cos(\theta) \\ \alpha(d-r)\sin(\theta)] & r \leq d \leq s+r \\ [\alpha \cos(\theta) \\ \alpha \sin(\theta)] & d > s+r \end{cases} \tag{6}$$

d mewakili jarak dari robot ke tujuan, seperti yang terlihat dalam Persamaan (7).

$$d = \sqrt{(X_{goal} - X_{actual})^2 + (Y_{goal} - Y_{actual})^2} \tag{7}$$

θ adalah posisi relatif robot terhadap tujuan, seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (8).

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Y_{goal} - Y_{actual}}{X_{goal} - X_{actual}} \tag{8}$$

Sementara itu, r adalah jari-jari lingkaran di sekitar tujuan, s adalah penyebaran dari titik tujuan, dan α adalah konstanta penyetelan medan potensial. Untuk persamaan repulsif yang dapat digunakan untuk menghindari rintangan, dapat ditulis sebagai Persamaan (9).

$$[X_{rep} \ Y_{rep}]^T = \begin{cases} -\text{sign} \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix} & d < r \\ -\beta(s+r-d) \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix} & r \leq d \leq s+r \\ [0 \ 0]^T & d > s+r \end{cases} \tag{9}$$

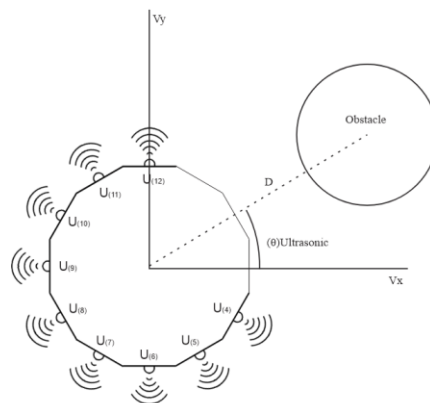
d mewakili jarak dari robot ke rintangan, seperti yang terlihat dalam Persamaan (10).

$$d = \sqrt{(X_{Obs} - X_{actual})^2 + (Y_{Obs} - Y_{actual})^2} \tag{10}$$

θ adalah posisi relatif robot terhadap rintangan, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (11).

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Y_{Obs} - Y_{actual}}{X_{Obs} - X_{actual}} \tag{11}$$

Sementara r adalah jari-jari lingkaran di sekitar tujuan, s adalah penyebaran dari titik tujuan, dan β adalah konstanta penyetelan medan potensial. Sensor ultrasonik sangat penting untuk mendeteksi rintangan, beroperasi berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara untuk menginterpretasikan keberadaan dan jarak benda berdasarkan frekuensi tertentu [11]. Konfigurasi sudut penempatan mereka diilustrasikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi ultrasonik

$U(i)$ menunjukkan sensor ultrasonik, (θ) Ultrasonik menunjukkan sudut pemasangan ultrasonik terhadap sumbu X, dan D mewakili jarak dari pusat robot ke rintangan. Dengan menggunakan Persamaan (12), dapat diketahui koordinat dari pusat robot ke rintangan.

$$\begin{bmatrix} X_{Obs} \\ Y_{Obs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + D_{(n)} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{(n)} + \theta) \\ \sin(\theta_{(n)} + \theta) \end{bmatrix} \tag{12}$$

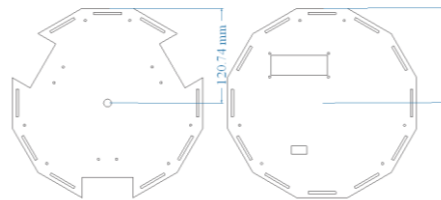
Sementara $[X \ Y]^T$ adalah koordinat aktual robot, θ adalah orientasi aktual robot, $\theta(n)$ adalah sudut pemasangan ultrasonik relatif terhadap sumbu X, dan n adalah urutan sensor ultrasonik. Dengan menggabungkan Persamaan (6) dan Persamaan (9), persamaan yang menghasilkan gaya dari medan potensial diperoleh dalam Persamaan (13).

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{rep} \\ Y_{rep} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{att} \\ Y_{att} \end{bmatrix} \tag{13}$$

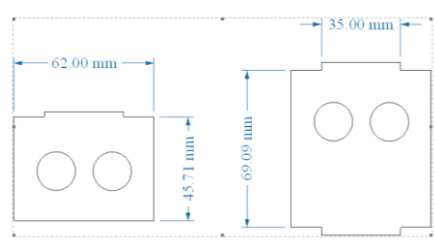
3. METODE PENELITIAN (10 PT)

3.1. Desain Robot Omnidireksional

Sebuah robot omnidireksional dirancang menggunakan tiga roda omnidireksional yang diposisikan secara simetris pada sebuah rangka akrilik. Gambar 3 dan 4 memberikan gambaran tentang desain robot omnidireksional tersebut. Selain itu, Gambar 5 mengilustrasikan hubungan antara komponen-komponen dalam sistem robot omnidireksional.

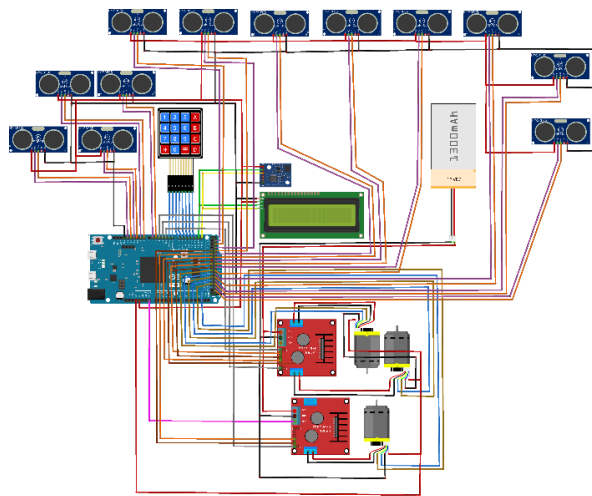


Gambar 3. Kerangka bawah dan atas sasis robot



Gambar 4. Sasis samping robot

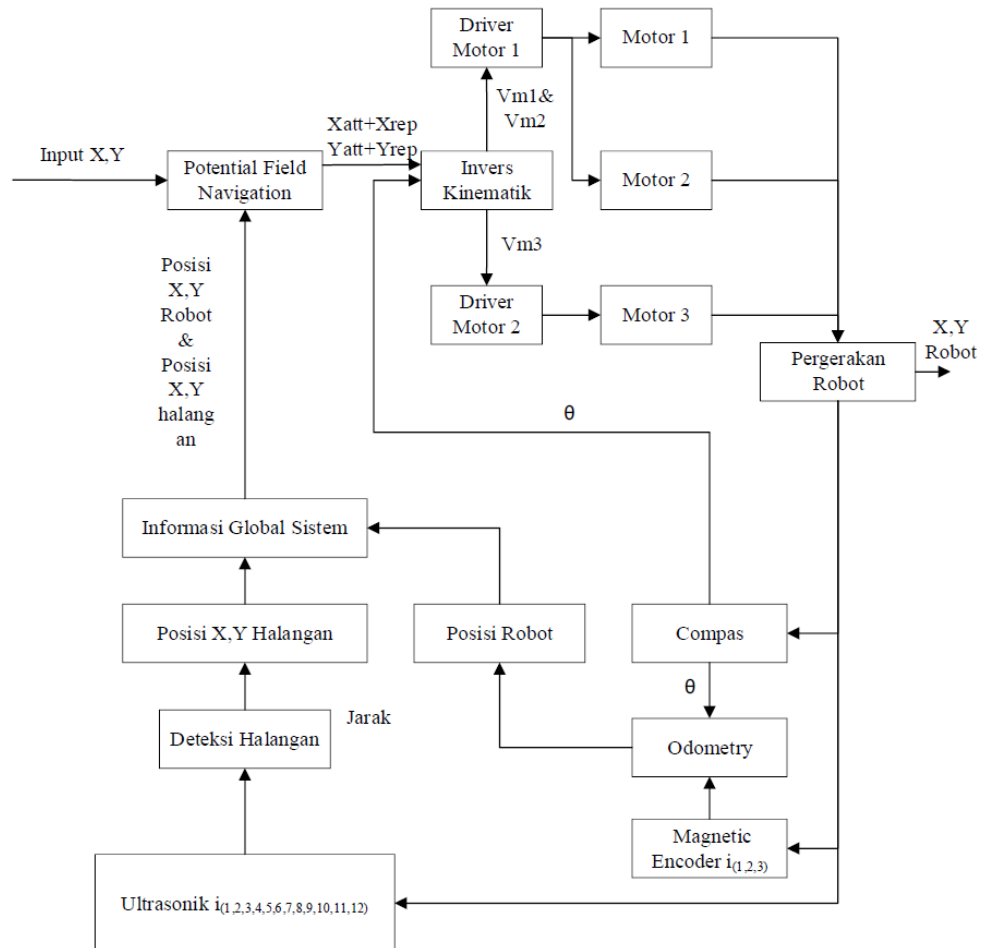
Pada skema yang disajikan dalam Gambar 5, Arduino Due berfungsi sebagai mikrokontroler utama untuk robot. Keypad 4x4 berfungsi sebagai modul komunikasi antara pengguna dan robot, sedangkan LCD 16x2 digunakan untuk menampilkan data. Propulsi utama untuk robot omnidireksional disediakan oleh motor DC, yang terhubung ke pengendali motor. Encoder digunakan untuk mengukur rotasi setiap roda, dan sebuah kompas digunakan untuk menentukan arah robot. Selain itu, sebuah sensor ultrasonik diintegrasikan untuk mendeteksi rintangan.



Gambar 5. Skematik robot

3.2. Sistem Robot Omnidireksional

Untuk mengendalikan robot omnidireksional dalam kasus ini, keypad 4x4 berfungsi sebagai antarmuka antara pengguna dan robot, memberikan masukan kepada robot. Detail sistem robot dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok sistem

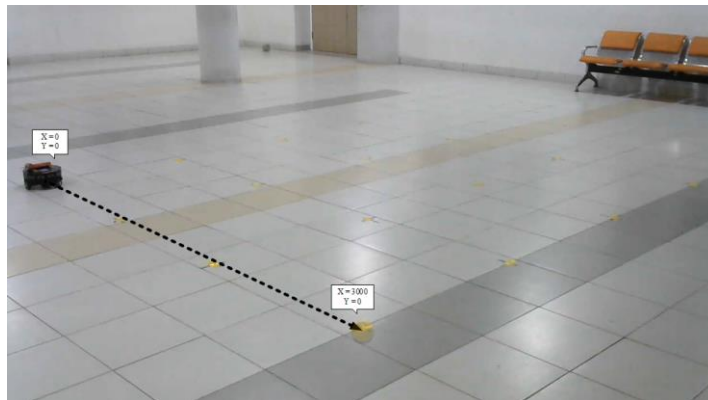
Gambar 6 menggambarkan kerangka kerja operasional robot, di mana robot menerima nilai masukan untuk x dan y dari keypad. Selanjutnya, masukan ini mengalami komputasi melalui algoritma medan potensial yang menggabungkan umpan balik dari sistem informasi global. Sistem informasi global ini mencakup data yang diperoleh dari berbagai sensor, termasuk odometri, pembacaan kompas, dan data rintangan yang diperoleh melalui sensor ultrasonik. Setelah komputasi medan potensial, sistem melanjutkan ke perhitungan kinematik untuk menentukan kecepatan setiap motor. Kecepatan yang dihitung ini kemudian dikirim ke pengendali motor, yang menggerakkan motor, akhirnya menghasilkan pergerakan yang diinginkan dari robot. Proses terintegrasi ini memperlihatkan interaksi rumit antara akuisisi masukan, perhitungan medan potensial, dan penyesuaian kinematik untuk mencapai gerakan robot.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN (10 PT)

Tabel 1 berisi data tentang pergerakan robot sepanjang sumbu X tanpa ada rintangan, dimulai dari titik X = 0, Y = 0, dan menuju tujuan X = 3000, Y = 0. Sementara itu, Tabel 2 mencakup data tentang pergerakan robot sepanjang sumbu X dengan adanya rintangan. Pergerakan dimulai dari titik X = 0, Y = 0, dan berakhir pada titik X = 3000, Y = 0.

Tabel 1. Pergerakan robot sepanjang sumbu X tanpa rintangan

No	Target (mm)		Terukur (mm)		Waktu (d)
	X	Y	X	Y	
1	3000	0	2944.95	-25.78	11.14
2	3000	0	2988.51	-16.72	10.86
3	3000	0	2997.18	-21.23	11.65
4	3000	0	2944.38	26.12	10.81
5	3000	0	2936.06	7.82	10.66
6	3000	0	2993.11	11.34	11.11
7	3000	0	2956.12	21.56	10.33
8	3000	0	2977.77	20.13	10.58
9	3000	0	2941.31	10.34	10.98
10	3000	0	3010.01	-10.45	10.34
Mean Absolute Error			33.06	17.15	Waktu Rata-rata 10.85



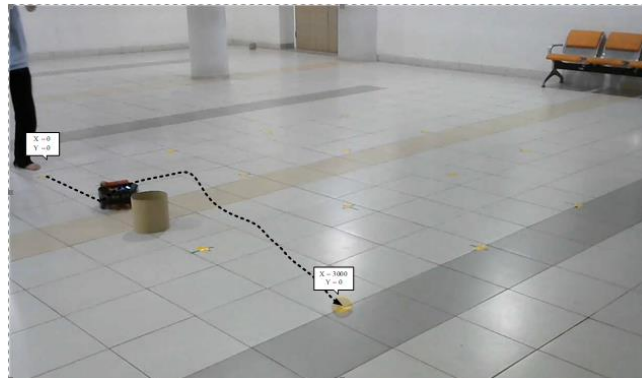
Gambar 7. Pergerakan robot sepanjang sumbu X tanpa rintangan

Gambar 7 menggambarkan gambaran pergerakan robot tanpa adanya rintangan, di mana robot bergerak langsung dari titik awal ke tujuan yang diberikan tanpa melakukan rotasi atau belok terlebih dahulu.

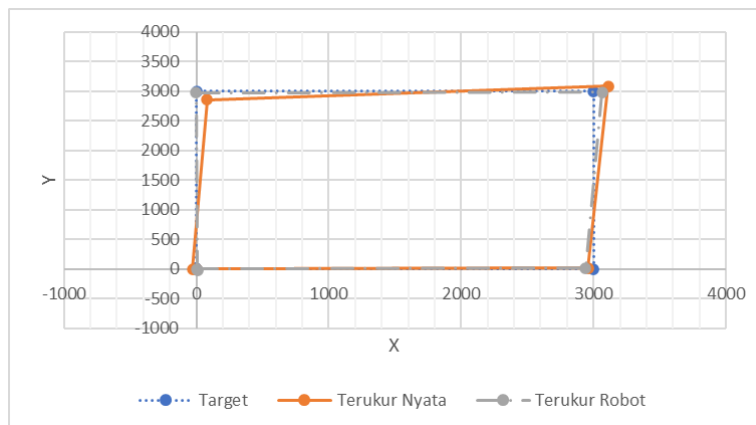
Tabel 2. Pergerakan robot sepanjang sumbu X dengan halangan

No	Target (mm)		Terukur (mm)		Waktu (d)
	X	Y	X	Y	
1	3000	0	2997.50	23.51	11.85
2	3000	0	2970.45	19.56	12.63
3	3000	0	2944.86	-19.31	12.87
4	3000	0	2946.57	-11.27	11.85
5	3000	0	2959.69	16.05	11.73
6	3000	0	3091.22	-22.33	11.99
7	3000	0	2955.21	-13.21	12.56
8	3000	0	3060.01	3.33	12.65
9	3000	0	2931.12	24.32	12.81
10	3000	0	3083.99	23.12	12.56
Mean Absolute Error			52.98	17.60	Waktu Rata-rata 12.35

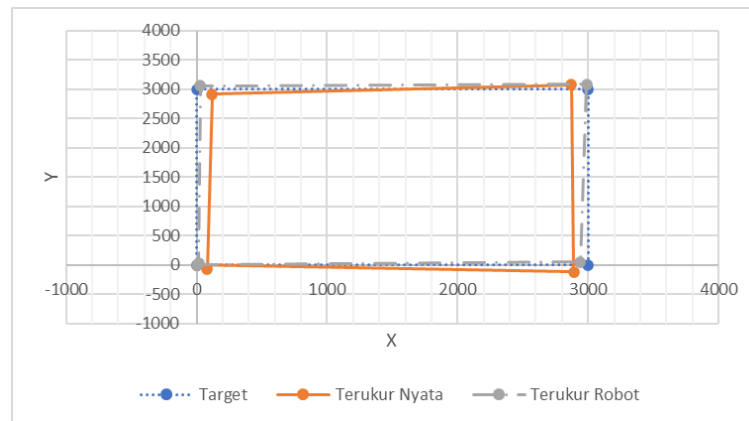
Gambar 8 menggambarkan gambaran pergerakan robot dengan rintangan, di mana robot bergerak langsung dari titik awal ke tujuan yang diberikan tanpa melakukan rotasi atau belok terlebih dahulu. Ketika robot menghadapi rintangan, ia menyesuaikan jalannya untuk menghindari rintangan dan kemudian kembali ke titik tujuan yang ditentukan.



Gambar 8. Pergerakan robot sepanjang sumbu X dengan rintangan

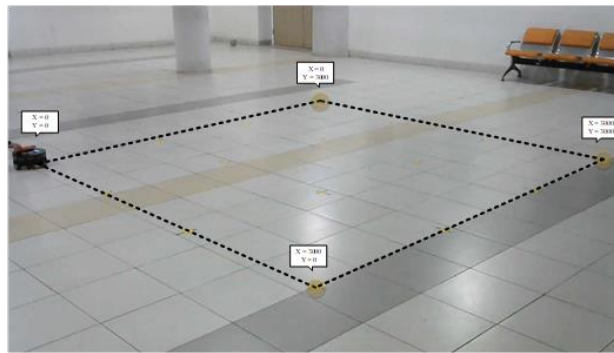


Gambar 9. Pergerakan robot membentuk persegi tanpa rintangan

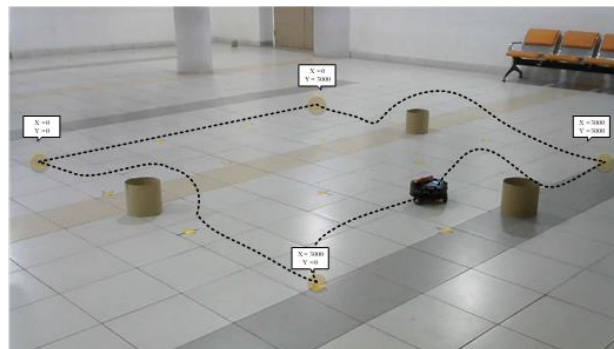


Gambar 10. Pergerakan robot membentuk persegi dengan rintangan

Gambar 9 mengilustrasikan grafik pergerakan robot membentuk pola persegi tanpa rintangan, sedangkan Gambar 10 mengilustrasikan grafik pergerakan robot membentuk pola persegi dengan rintangan. Robot memulai pergerakannya dari titik $X = 0, Y = 0$, menuju $X = 3000, Y = 0$. Selanjutnya, robot bergerak ke $X = 3000, Y = 3000$, kemudian menuju $X = 0, Y = 3000$. Destinasi akhir bersinggungan dengan titik awal, $X = 0, Y = 0$. Perlu dicatat bahwa grafik dalam Gambar 9 dan Gambar 10 tidak mencakup data waktu nyata dari pergerakan robot. Grafik ini hanya menampilkan data titik akhir dari setiap tujuan selama proses pengujian. Visualisasi pergerakan robot saat mengikuti pola segitiga dapat dilihat dalam Gambar 11 dan Gambar 12. Pada Gambar 11, pergerakan robot diuji tanpa adanya rintangan, sedangkan pada Gambar 12, pergerakan robot diuji dengan adanya rintangan.



Gambar 11. Pergerakan robot membentuk persegi tanpa rintangan



Gambar 12. Pergerakan robot membentuk persegi dengan rintangan

5. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, pengembangan dan konstruksi robot omnidireksional dengan desain tiga roda telah berhasil dilaksanakan. Robot ini menunjukkan kemampuan untuk bergerak menuju posisi yang telah ditentukan sambil secara cekatan menghindari rintangan yang dihadapinya sepanjang lintasannya. Penelitian ini mengkonfirmasi adaptabilitas robot dalam berbagai skenario. Terutama, ketika dihadapkan pada rintangan yang menghalangi jalannya, robot secara otomatis menyesuaikan arahnya, memastikan mencapai tujuan yang dimaksud tanpa adanya tabrakan. Kemampuan yang ditunjukkan oleh robot untuk merespons dinamis terhadap tantangan lingkungan menegaskan potensinya untuk aplikasi dunia nyata di mana sistem robotik yang dapat beradaptasi dan sadar akan rintangan sangat penting. Dalam pengujian robot ini tercatat rata rata error terbesar pada pergerakan satu sumbu sebesar 52.98 mm dengan waktu rata rata yang diperoleh robot 12.35 detik.

REFERENSI

- [1] I. Suwanda, E. Derdian M, and F. Lubis, "Rancang Bangun Robot Omni Wheel Penyedot Debu Menggunakan Sensor Accelerometer Berbasis Mikrokontroler ATmega16". *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*, vol.2, no.2, pp.1-9, 2014.
- [2] D. Uddin Rijalussalam, un Budiyanto, and A. Mayub, "Trajectory Tracking pada Robot Omni dengan Metode Odometry," *JNTETI*, vol. 8, no. 1, pp. 35–44, 2019.
- [3] R. T. Yunardi, D. Arifianto, F. Bachtiar, and J. I. Prananingrum, "Holonomic implementation of three wheels omnidirectional mobile robot using DC motors," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, no. 2, pp. 65–71, 2021.
- [4] H. J. Djahi, S. Y. Doo, and A. M. P. Nuga, "Rancang Bangun Robot Mobil Dengan Sistem Navigasi Berbasis Odometry Menggunakan Rotary Encoder." *Jurnal Media Elektro*, 2019.
- [5] W. A. Maulana, T. Winarno, and I. Siradjuddin, "Navigasi Pergerakan Robot Berdasarkan Rekam Data Sensor Odometry," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 68–75, 2023.
- [6] F. WAHAB, "Metode Potential Field sebagai Kendali Robot Roda Omni untuk Menuju Target dan Menghindari Rintangan," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 10, no. 1, pp. 177–188, 2022.
- [7] L. Ode, M. Idris, S. Artini, and D. Prasetyowati, "Forward and Inverse Kinematic on Wheeled Soccer Robot," *Journal of Telematics and Informatics*, pp. 1–11, 2019.

- [8] E. T. Whittaker, *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies*, Second Edition. New York: Cambridge The University Press, 1917.
- [9] M. Syariffuddin Zuhrie, B. Suprianto, and P. Wanarti Rusimamto, "Sistem Positioning Pada Four-Wheeled Omnidirectional Mobile Robot Menggunakan Metode Gyrodometry Berbasis PI-Fuzzy Controller," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 77–87, 2022.
- [10] K. Nurhalim, I. Siradjuddin, R. I. Putri, T. Elektronika, T. Elektro, and P. N. Malang, "Implementasi Algoritma Potential Field Obstacle Avoidance Pada Robot Beroda 4 Omni Wheels Simetris," *Journal Of Applied Smart Electrical Network And Systems (JASENS)*, vol. 3, no.1, pp. 16-24, 2022.
- [11] T. N. Arifin, G. Febriyani Pratiwi, and A. Janrafsasih, "Sensor Ultrasonik Sebagai Sensor Jarak". *Jurnal Tera*, vol. 2, no.2, pp. 55-62, 2022.
- [12] A. A. Suryanto, A. Muqtadir, and S. Artikel, "Penerapan Metode Mean Absolute Error (Mea) Dalam Algoritma Regresi Linear Untuk Prediksi Produksi Padi. No. 1, pp. 11, 2019.