

(Artikel Penelitian/Ulasan)

Penerapan Rotary Encoder sebagai Sistem Odometry untuk Navigasi Robot Sepak Bola Beroda

Agus Khumaidi^{1*}, Muhammad Ainul Yaqin², Ryan Yudha Adhitya³, Sholahuddin Muhammad Irsyad⁴, dan Muhammad Jardin Saputra⁵.

¹ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : aguskhumaidi@ppns.ac.id

² Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : muhammadainul21@student.ppns.ac.id

³ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id

⁴ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : muhammad.irsyad@ppns.ac.id

⁵ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ; email : muhammadjardin@student.ppns.ac.id

Penulis : Agus Khumaidi

Abstract : Wheeled soccer robots require an accurate navigation system in order to move along the planned trajectory. Without a precise navigation system, robots have the potential to deviate from their trajectory, which can reduce the effectiveness of the game. One method commonly used to estimate the position and orientation of a robot is odometry based on a rotary encoder sensor, which calculates the relative position based on the accumulation of pulses from the rotation of the wheels. This study aims to implement a rotary encoder as the main sensor in the odometry system to improve the accuracy of position and orientation estimation in wheeled soccer robots. Three rotary encoders were installed on omni-directional wheels with a 120° angle configuration, integrated with an STM32F407 microcontroller for pulse reading, wheel circumference calculation, and Cartesian coordinate transformation using omni-directional kinematic equations. Test results show that the rotary encoder-based odometry system is capable of estimating distance traveled with an average error of between 2.00% and 2.33%, which is better than systems without odometry that achieve errors of up to 15%. Thus, the use of rotary encoders has been proven effective in improving the navigation accuracy of wheeled soccer robots and can be used as a basis for developing more complex navigation systems.

Keywords: Robot navigation; odometry; soccer robot; rotary encoder; STM32F407

Abstrak: Robot sepak bola beroda memerlukan sistem navigasi yang akurat agar dapat bergerak sesuai lintasan yang direncanakan. Tanpa sistem navigasi yang presisi, robot berpotensi mengalami penyimpangan lintasan yang dapat menurunkan efektivitas permainan. Salah satu metode yang umum digunakan untuk memperkirakan posisi dan orientasi robot adalah *odometry* berbasis sensor *rotary encoder*, yang menghitung posisi relatif berdasarkan akumulasi pulsa dari putaran roda. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan *rotary encoder* sebagai sensor utama dalam sistem *odometry* guna meningkatkan akurasi estimasi posisi dan orientasi pada robot sepak bola beroda. Tiga buah *rotary encoder* dipasang pada roda *omni-directional* dengan konfigurasi sudut 120°, diintegrasikan dengan mikrokontroler STM32F407 untuk pembacaan pulsa, perhitungan keliling roda, serta transformasi koordinat kartesian menggunakan persamaan kinematika omni-directional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *odometry* berbasis *rotary encoder* mampu memperkirakan jarak tempuh dengan rata-rata error antara 2,00% hingga 2,33%, lebih baik dibandingkan sistem tanpa *odometry* yang mencapai error hingga 15%. Dengan demikian, penggunaan *rotary encoder* terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi navigasi robot sepak bola beroda dan dapat dijadikan dasar untuk pengembangan sistem navigasi yang lebih kompleks.

Kata kunci: Navigasi robot; odometry; robot sepak bola; rotary encoder; STM32F407

Diterima: Oktober 20, 2025

Direvisi: Oktober 28, 2025

Diterima: Oktober 29, 2025

Diterbitkan: November 20, 2025

Versi sekarang: November 29, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka

berdasarkan syarat dan ketentuan

lisensi Creative Commons

Attribution (CC BY SA) (

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi robotika, khususnya robot beroda untuk aplikasi kompetisi seperti sepak bola robot, semakin pesat. Robot beroda dalam pertandingan dituntut untuk bergerak cepat, mengubah arah secara dinamis, dan mempertahankan posisi yang strategis di lapangan. Untuk menunjang kebutuhan tersebut, sistem navigasi yang mampu memperkirakan posisi dan orientasi robot secara real-time menjadi sangat penting [1].

Salah satu metode yang umum digunakan dalam estimasi posisi dan orientasi robot beroda adalah odometry berbasis sensor rotary encoder, yang bekerja dengan mendeteksi rotasi roda dan mengubahnya menjadi pulsa digital yang merepresentasikan jarak tempuh [2]. Penelitian oleh Albab dan Rahmawati (2019) menunjukkan bahwa penggunaan rotary encoder pada sistem odometry dapat mencapai akurasi pembacaan jarak hingga 99,9% dan heading hingga 99,7%, sehingga terbukti efektif untuk sistem navigasi berbasis roda [1].

Meskipun demikian, sistem odometry berbasis encoder tidak bebas dari permasalahan. Beberapa penelitian melaporkan adanya akumulasi error (drift) yang diakibatkan oleh slip roda, ketidakrataan permukaan lantai, dan perbedaan mekanik antar roda [3]. Untuk mengurangi kesalahan tersebut, beberapa studi terbaru mengombinasikan rotary encoder dengan sensor *IMU* (*Inertial Measurement Unit*) atau sensor kamera guna meningkatkan presisi estimasi posisi [2].

Dalam konteks robot sepak bola, kondisi lapangan yang dinamis dan kecepatan perubahan posisi robot menuntut sistem navigasi yang presisi agar robot dapat bergerak sesuai strategi permainan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada penerapan sensor rotary encoder sebagai sistem odometry utama untuk meningkatkan akurasi navigasi robot sepak bola beroda, sekaligus menjadi dasar bagi integrasi sensor fusion di masa mendatang [1] [2] [3].

2. Tinjauan Literatur

2.1. Hardware

Penelitian ini memanfaatkan robot sepak bola beroda yang dilengkapi sensor rotary encoder sebagai komponen utama dalam sistem odometry. Perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler STM32F407 sebagai pusat kendali, rotary encoder incremental untuk pendeteksian rotasi roda, motor PG45 sebagai aktuator penggerak, driver motor *H-Bridge* IBT-2 sebagai penguat sinyal kendali, serta roda omni-directional yang memungkinkan pergerakan ke segala arah.

Mikrokontroler seri STM32 dipilih dalam penelitian ini karena kemampuan pemrosesan dan dukungan periferalnya yang lebih unggul dibandingkan mikrokontroler konvensional seperti Arduino, sehingga lebih handal untuk menangani pembacaan sinyal encoder dan pengolahan data sensor secara *real-time* [4]. Rotary encoder incremental digunakan untuk menghitung jumlah putaran roda dan mengonversinya menjadi jarak tempuh berdasarkan jumlah pulsa yang dihasilkan per satuan rotasi [3]. Sementara itu, penggunaan motor DC yang dipasangkan gearbox dipilih sebagai aktuator untuk roda omni-directional karena *gearbox* meningkatkan torsi keluaran motor sehingga memberikan gaya dorong yang lebih stabil dan konsisten, suatu faktor penting agar gerakan omni-directional dapat dikendalikan dengan presisi [5]. Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa komponen utama dan pendukung sebagai berikut:

1. Mikrokontroler STM32F407

Komponen ini berfungsi sebagai pusat kendali utama dengan kecepatan clock sebesar 168 MHz dan arsitektur prosesor 32-bit. STM32F407 digunakan untuk memproses sinyal pulsa yang diterima dari rotary encoder, melakukan perhitungan posisi dan jarak melalui algoritma odometry, serta mengirimkan sinyal kendali PWM ke motor melalui driver motor.

2. Rotary Encoder

Setiap roda dilengkapi dengan rotary encoder incremental untuk mendeteksi jumlah rotasi roda. Encoder menghasilkan pulsa digital yang digunakan untuk menghitung jarak tempuh berdasarkan nilai keliling roda dan resolusi encoder (pulse per revolution).

3. Motor DC PG45

Motor PG45 berfungsi sebagai aktuator penggerak utama pada robot. *Gearbox* yang terintegrasi berperan dalam menurunkan kecepatan putar sekaligus meningkatkan

torsi, sehingga robot dapat bergerak dengan stabil dan memiliki respon torsi yang lebih kuat pada berbagai kondisi permukaan.

4. Motor Driver H-Bridge IBT-2

Komponen ini berperan sebagai penguat sinyal PWM dari mikrokontroler STM32, memungkinkan pengendalian arah dan kecepatan motor DC secara simultan. Driver IBT-2 digunakan karena memiliki kemampuan arus tinggi dan efisiensi yang baik untuk aplikasi robotik.

5. Roda Omni-Directional

Robot menggunakan tiga buah roda omni yang disusun dengan konfigurasi segitiga sama sisi. Desain ini memungkinkan robot bergerak ke segala arah (omni-directional movement) tanpa harus mengubah orientasi tubuh robot, sehingga sangat sesuai untuk kebutuhan manuver cepat dalam pertandingan robot sepak bola.

2.2 Estimasi Posisi Robot Menggunakan Rotary Encoder

Estimasi posisi robot dilakukan menggunakan metode odometry, yaitu proses perhitungan posisi relatif terhadap titik awal berdasarkan akumulasi pergerakan roda dari waktu ke waktu. Dalam sistem ini, rotary encoder digunakan sebagai sensor utama yang mencatat jumlah pulsa dari setiap rotasi roda untuk menentukan jarak tempuh serta arah pergerakan robot. Pendekatan ini banyak digunakan karena mampu memberikan estimasi posisi secara berkelanjutan tanpa memerlukan sensor eksternal tambahan [3].

2.2.1. Perhitungan Keliling Roda

Keliling roda menunjukkan jarak yang ditempuh oleh roda dalam satu putaran penuh dan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$K_{\text{roda}} = 2\pi r \quad (1)$$

dengan r adalah jari-jari roda dalam satuan milimeter. Nilai keliling ini menjadi dasar untuk mengonversi rotasi roda menjadi jarak linier yang ditempuh oleh robot.

2.2.2. Rasio Pulsa terhadap Jarak

Setiap rotasi roda menghasilkan sejumlah pulsa dari rotary encoder. Jumlah pulsa per satuan jarak dihitung berdasarkan resolusi encoder dan keliling roda, seperti pada persamaan berikut:

$$\frac{\text{Pulse}}{\text{mm}} = \frac{\text{Res}_{\text{enc}}}{K_{\text{roda}}} \quad (2)$$

di mana Res_{enc} merupakan jumlah pulsa yang dihasilkan encoder dalam satu rotasi penuh (*pulse per revolution*). Rasio ini digunakan untuk mengubah jumlah pulsa menjadi jarak tempuh aktual dalam milimeter [3].

2.2.3. Analisis Translasi Gerak Roda

Pergerakan translasi robot pada sumbu lokal ditentukan berdasarkan kontribusi jarak tempuh dari masing-masing roda. Pada robot omni-directional dengan tiga roda, translasi posisi (S_x, S_y) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_x = S_3 - S_1 \cos(\theta_1) - S_2 \cos(\theta_2) \quad (3)$$

$$S_y = S_1 \cos(\theta_1) - S_2 \cos(\theta_2) \quad (4)$$

dengan:

S_1, S_2, S_3 : jarak tempuh masing-masing roda hasil pembacaan encoder.

θ_1, θ_2 : sudut posisi roda terhadap sumbu referensi.

Persamaan ini digunakan untuk menentukan perubahan posisi translasi robot berdasarkan gabungan vektor gerak dari tiap roda omni [6].

2.2.4. Transformasi Posisi ke Sistem Global

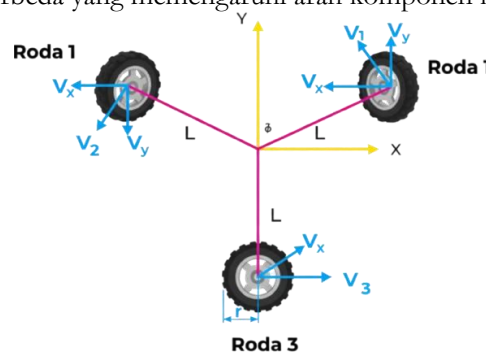
Posisi robot terhadap sistem koordinat global diperoleh melalui transformasi rotasi dari sistem lokal ke sistem global menggunakan matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} X_{pos} \\ Y_{pos} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_x \\ S_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

dengan θ menyatakan sudut orientasi robot terhadap sumbu X global. Transformasi ini memastikan posisi robot dapat ditampilkan secara akurat pada sistem koordinat lapangan meskipun orientasi robot berubah saat bergerak [7].

2.3 Penempatan dan Konfigurasi Rotary Encoder

Setiap roda pada robot omni-directional dilengkapi dengan rotary encoder yang berfungsi untuk mendeteksi jumlah putaran roda secara presisi. Pemasangan encoder dilakukan pada poros setiap roda agar rotasi dapat terukur secara langsung tanpa adanya keterlambatan akibat mekanisme transmisi. Ketiga roda omni disusun membentuk konfigurasi segitiga sama sisi dengan jarak L dari titik pusat robot. Setiap roda memiliki orientasi sudut berbeda yang memengaruhi arah komponen kecepatan liniernya.



Gambar 1. Konfigurasi odometry dan 3 rotary encoder [8].

Gambar 1. memperlihatkan skema konfigurasi tiga roda omni yang ditempatkan pada posisi 120° satu sama lain terhadap pusat robot. Roda 1, roda 2, dan roda 3 masing-masing dilengkapi dengan satu unit rotary encoder yang dipasang sejajar dengan poros motor. Setiap encoder menghasilkan sinyal pulsa digital yang merepresentasikan rotasi roda dan digunakan untuk menghitung kecepatan linier masing-masing roda (V_1, V_2, V_3).

Nilai kecepatan tersebut kemudian diuraikan menjadi komponen sumbu-X (V_x) dan sumbu-Y (V_y), yang digunakan dalam perhitungan translasi robot pada bidang kartesian. Dengan konfigurasi ini, sistem odometry mampu memperkirakan posisi dan arah orientasi robot secara **real-time** dengan tingkat akurasi yang baik [6].

3. Metode

Bagian ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem odometry berbasis rotary encoder pada robot sepak bola beroda. Metode penelitian disusun secara sistematis mulai dari tahap perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, pengujian sistem, hingga analisis hasil untuk memperoleh tingkat akurasi posisi dan jarak tempuh robot.

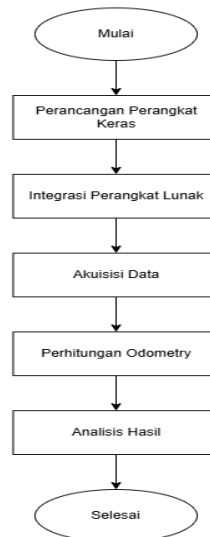
Selain itu, pada bagian ini juga disertakan persamaan matematis dan diagram alir sebagai ilustrasi proses perhitungan serta tahapan pelaksanaan penelitian agar pembaca dapat memahami alur kerja sistem secara menyeluruh.

3.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen terapan (*applied experimental research*) yang berfokus pada implementasi dan pengujian sistem odometry berbasis rotary encoder pada robot sepak bola beroda. Pendekatan yang digunakan bersifat kuantitatif, dengan menganalisis hasil pengukuran jarak dan posisi robot untuk menilai tingkat akurasi sistem..

3.2. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian meliputi beberapa tahap utama, yaitu perancangan perangkat keras, integrasi perangkat lunak, perhitungan odometry, dan analisis hasil. Tahapan penelitian ini dilakukan secara sistematis agar hasil yang diperoleh dapat dievaluasi secara akurat. Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alur tahapan penelitian yang dilakukan.



Gambar 3.1 Rancangan Penelitian.

Gambar 3.1 menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari perancangan perangkat keras, integrasi perangkat lunak, akuisisi data, hingga proses analisis hasil untuk mendapatkan kesimpulan dari sistem yang telah dikembangkan.

3.3. Perancangan Sistem

3.3.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu:

1. Mikrokontroler STM32F407, digunakan sebagai pusat pengendali sistem dan pengolah data dari rotary encoder.
2. Rotary Encoder Incremental, berfungsi untuk membaca jumlah pulsa dari putaran roda.
3. Motor DC PG45 dengan Gearbox, berperan sebagai aktuator penggerak utama robot.
4. Motor Driver IBT-2, berfungsi mengatur kecepatan dan arah motor berdasarkan sinyal PWM dari STM32.
5. Roda Omni-Directional, memungkinkan pergerakan robot ke segala arah tanpa perlu mengubah orientasi tubuh robot.

3.3.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan **STM32CubeIDE** dengan bahasa

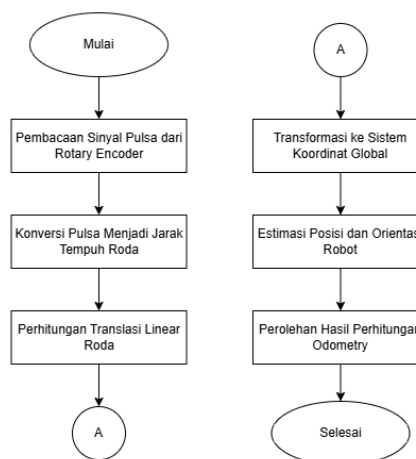
C. Proses utamanya meliputi:

- Inisialisasi pin *input capture* untuk pembacaan pulsa encoder.
- Penghitungan jarak tempuh roda berdasarkan resolusi encoder.
- Transformasi data ke sistem koordinat global (x, y).

3.4. Diagram Alir Sistem Odometry

Sistem odometry bekerja dengan membaca sinyal pulsa dari rotary encoder untuk menghitung jarak tempuh dan orientasi robot.

Tahapan perhitungan ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Odometry

Gambar 3.2 menjelaskan proses kerja sistem odometry, dimulai dari pembacaan pulsa encoder hingga menghasilkan estimasi posisi robot pada bidang kartesian secara *real-time*.

3.5 Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian uji coba pergerakan robot dengan variasi jarak tempuh tertentu. Setiap pengujian dilakukan pada lintasan datar dengan panjang berbeda untuk memperoleh hasil yang representatif. Jarak aktual yang ditempuh robot diukur secara manual menggunakan pita ukur sebagai pembandingan, sedangkan jarak estimasi dihitung secara otomatis oleh sistem berdasarkan jumlah pulsa yang dihasilkan rotary encoder.

Metode pengujian semacam ini banyak diterapkan dalam penelitian robot beroda untuk mengukur tingkat akurasi sistem odometry dan validasi hasil perhitungan sensor encoder terhadap jarak sebenarnya [9].

3.6 Analisis Akurasi Sistem Odometry

Data hasil pengujian dianalisis dengan menghitung **rata-rata kesalahan (error)** antara jarak aktual dan jarak hasil estimasi encoder menggunakan persamaan berikut:

$$Error(\%) = \frac{|S_{aktual} - S_{encoder}|}{S_{aktual}} \times 100\% \quad (6)$$

dengan:

S_{aktual} : Jarak sebenarnya yang diukur menggunakan pita ukur.

$S_{encoder}$: Jarak estimasi hasil perhitungan odometry dari rotary encoder.

Analisis error ini dilakukan untuk membandingkan hasil pengujian antara sistem yang menggunakan odometry dan sistem tanpa odometry, sehingga dapat diketahui sejauh mana efektivitas penggunaan rotary encoder dalam meningkatkan akurasi navigasi [10].

4. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini membahas hasil implementasi dan pengujian sistem odometry berbasis rotary encoder pada robot sepak bola beroda. Pembahasan mencakup perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, proses akuisisi data, serta analisis hasil pengujian untuk menilai tingkat akurasi sistem dalam memperkirakan jarak dan posisi robot.

Data pengujian diperoleh dari hasil pembacaan tiga buah rotary encoder yang terpasang pada setiap roda omni-directional dengan konfigurasi sudut 120°. Nilai hasil pengukuran dibandingkan dengan data aktual menggunakan pita ukur sebagai acuan untuk menghitung persentase kesalahan.

4.1 . Pengujian *Rotary Encoder*

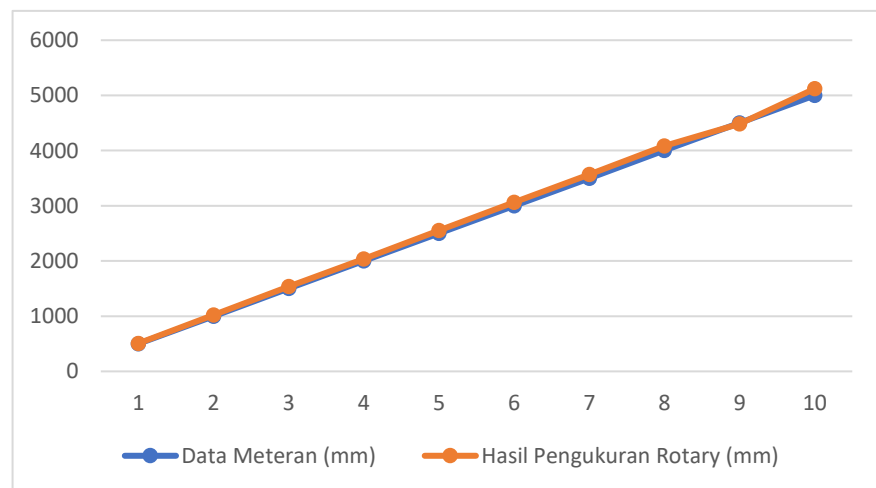
Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja tiga buah rotary encoder yang terpasang pada robot omni-directional. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk membandingkan hasil estimasi jarak tempuh berdasarkan pembacaan encoder terhadap jarak aktual yang diukur menggunakan pita ukur sebagai acuan.

Robot diuji pada lintasan lurus dengan jarak 500 mm hingga 5000 mm pada interval 500 mm. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan analisis kesalahan dan kestabilan pengukuran.

4.1.1 Pengujian *Rotary Encoder* sesi 1

Tabel 1. Pengujian *Rotary Encoder* sesi 1

No	Data Meteran (mm)	Hasil Pengukuran Rotary (mm)	Error (%)
1	500	507	1,40
2	1000	1021	2,10
3	1500	1537	2,47
4	2000	2039	1,95
5	2500	2553	2,12
6	3000	3061	2,03
7	3500	3568	1,94
8	4000	4083	2,08
9	4500	4482	0,40
10	5000	5121	2,42
Rata-rata Error			2,00



Gambar 4.1 Grafik Pengujian *Rotary Encoder* sesi 1.

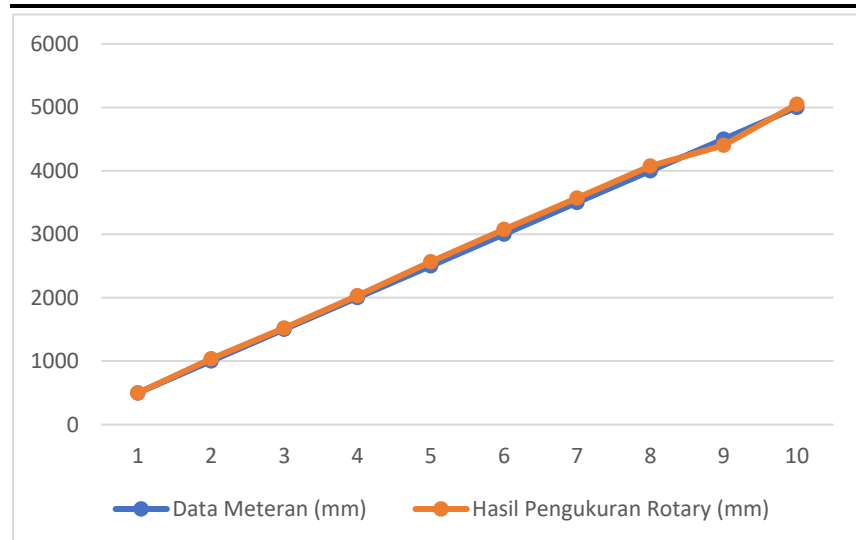
Encoder 1 menunjukkan kinerja yang stabil dan konsisten dengan rata-rata error sebesar 2,00%. Pola grafik pada Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa hasil pengukuran rotary encoder hampir sejajar dengan garis referensi (data meteran), yang menandakan tingkat akurasi pengukuran yang baik.

Deviasi kecil terlihat pada beberapa titik pengujian, seperti pada jarak 1500 mm (error 2,47%) dan 5000 mm (error 2,42%), namun nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi sistem. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa rotary encoder 1 memiliki reliabilitas tinggi dan mampu memberikan estimasi jarak tempuh yang akurat untuk mendukung sistem odometry pada robot omni-directional.

4.1.2 Pengujian *Rotary Encoder* sesi 2

Tabel 2. Pengujian *Rotary Encoder* sesi 2

No	Data Meteran (mm)	Hasil Pengukuran Rotary (mm)	Error (%)
1	500	498	0,40
2	1000	1040	4,00
3	1500	1524	1,60
4	2000	2030	1,50
5	2500	2565	2,60
6	3000	3078	2,60
7	3500	3570	2,00
8	4000	4075	1,88
9	4500	4400	2,22
10	5000	5048	0,96
Rata-rata Error			2,08



Gambar 4.2 Grafik Pengujian *Rotary Encoder* sesi 2.

Encoder 2 menunjukkan performa yang sangat baik dan paling konsisten di antara ketiga sensor, dengan rata-rata error sebesar 2,08%. Nilai error terendah tercatat pada jarak 500 mm (0,40%), sedangkan error tertinggi terjadi pada jarak 1000 mm (4,00%).

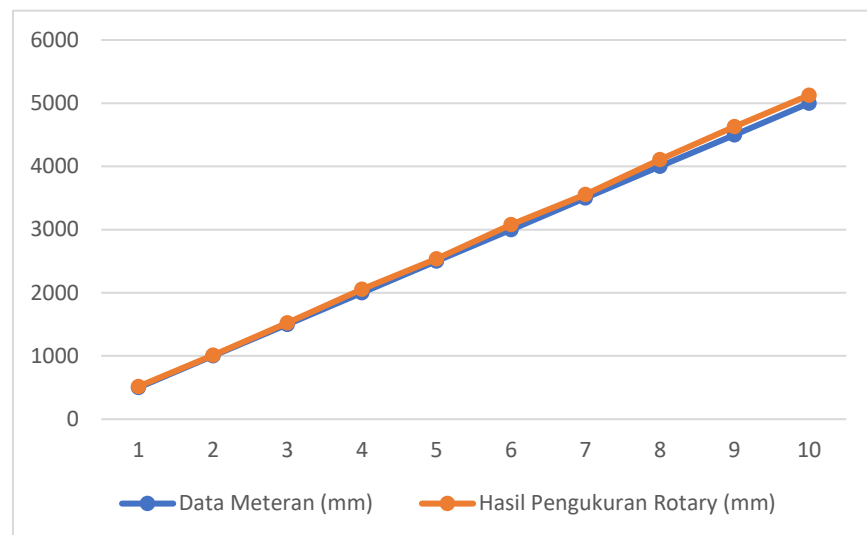
Meskipun terdapat sedikit deviasi pada pengujian awal, pola grafik menunjukkan bahwa hasil pengukuran encoder 2 hampir berhimpit dengan garis referensi (data aktual). Hal ini menunjukkan bahwa rotary encoder 2 memiliki tingkat akurasi paling tinggi dan sangat layak digunakan dalam sistem odometry untuk memperkirakan jarak tempuh robot.

4.1.3 Pengujian *Rotary Encoder* sesi 3

Tabel 3. Pengujian *Rotary Encoder* sesi 3

No	Data Meteran (mm)	Hasil Pengukuran Rotary (mm)	Error (%)
1	500	518	3,60
2	1000	1012	1,20
3	1500	1525	1,67
4	2000	2058	2,90
5	2500	2539	1,56
6	3000	3079	2,63
7	3500	3558	1,66
8	4000	4106	2,65

9	4500	4629	2,86
10	5000	5127	2,54
Rata-rata Error			2,33



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Rotary Encoder sesi 3.

Encoder 3 menunjukkan kinerja yang stabil dengan rata-rata error sebesar 2,33%, sedikit lebih tinggi dibandingkan dua encoder lainnya. Fluktuasi error terlihat pada jarak pendek (500 mm, error 3,60%) dan panjang (4500 mm, error 2,86%), namun secara keseluruhan hasil pengukuran tetap dalam batas toleransi sistem odometry.

Grafik pengujian memperlihatkan bahwa hasil pembacaan encoder 3 mengikuti garis referensi dengan baik, menunjukkan bahwa sensor masih mampu memberikan estimasi jarak tempuh yang akurat dan konsisten dalam sistem robot *omni-directional*.

4.2. Analisis Perbandingan Kinerja Tiap Rotary Encoder

Untuk memperkuat analisis, hasil dari ketiga rotary encoder dibandingkan secara langsung. Secara keseluruhan diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Encoder 1 → Memiliki akurasi terbaik dengan rata-rata error sebesar 2,00%.
2. Encoder 2 → Menunjukkan performa yang baik dengan error rata-rata 2,08%.
3. Encoder 3 → Memiliki error tertinggi, yaitu 2,33%, namun masih termasuk dalam kategori layak digunakan.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa rotary encoder memiliki tingkat keandalan yang baik untuk sistem odometry dengan akurasi tinggi. Nilai error yang diperoleh masih berada dalam batas toleransi sistem navigasi robot beroda, sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa akurasi odometry umumnya berkisar antara 2% hingga 5% [11].

Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan tiga buah rotary encoder yang dipasang pada roda omni-directional dengan konfigurasi sudut 120° mampu menghasilkan estimasi posisi translasi dan rotasi yang akurat serta konsisten terhadap gerakan aktual robot.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem odometry berbasis rotary encoder mampu melakukan estimasi posisi dan jarak tempuh robot omni-directional dengan tingkat akurasi yang baik, sehingga dapat menjadi solusi efektif untuk sistem navigasi pada robot sepak bola beroda.
2. Pengujian terhadap tiga unit rotary encoder menunjukkan nilai rata-rata kesalahan pengukuran berada pada kisaran **2,00% hingga 2,33%**, yang masih berada dalam batas toleransi untuk sistem navigasi robot beroda. Hasil ini membuktikan bahwa penggunaan

rotary encoder memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan akurasi pergerakan robot.

3. Konfigurasi tiga roda omni dengan sudut pemasangan 120° memungkinkan sistem melakukan estimasi translasi dan rotasi secara real-time, sehingga mendukung performa navigasi yang presisi dalam kondisi permainan dinamis.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas laboratorium dan bimbingan akademik yang diberikan selama proses penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada seluruh dosen pembimbing serta rekan satu tim yang telah membantu dalam proses pengujian dan analisis data sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- [1] A. N. Albab and E. Rahmawati, "Rancang Bangun Sistem Navigasi Mobile Robot Berbasis Sensor Rotary Encoder Menggunakan Metode Odometri," *J. Inov. Fis. Indones.*, vol. 08, no. 2017, pp. 23–27, 2019.
- [2] S. B. Marwanto and R. D. Puriyanto, "IMU Sensor Based Omnidirectional Robot Localization and Rotary Encoder," *Control Syst. Optim. Lett.*, vol. 1, no. 2, pp. 103–110, 2023, doi: 10.59247/csolv1i2.39.
- [3] H. J. Djahi, S. Y. Doo, and A. M. P. Nuga, "Rancang Bangun Robot Mobil Dengan Sistem Navigasi Berbasis Odometry Menggunakan Rotary Encoder," *J. Media Elektro*, vol. VIII, no. 1, pp. 59–65, 2019, doi: 10.35508/jme.v8i1.1082.
- [4] R. T. Yunardi, D. Arifianto, F. Bachtar, and J. I. Prananingrum, "Holonomic implementation of three wheels omnidirectional mobile robot using DC motors," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 2, pp. 65–71, 2021, doi: 10.18196/jrc.2254.
- [5] S. Landler, M. Otto, B. Vogel-Heuser, M. Zimmermann, and K. Stahl, "High-ratio planetary gearbox with EC gearing for robot applications: High-ratio planetary gearbox with EC gearing...: S. Landler et al.," *Int. J. Intell. Robot. Appl.*, vol. 8, no. 4, pp. 1074–1084, 2024, doi: 10.1007/s41315-024-00373-8.
- [6] M. A. Yaqin *et al.*, "Implementasi Path Planning A * Untuk Menghindari Robot lawan Menggunakan Robot Operating System pada KRSBI-Beroda," vol. 12, 2025.
- [7] 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.
- [8] J. Teknik, K. Kapal, P. Perkapalan, and N. Surabaya, *ESTIMASI JARAK NYATA ROBOT SEPAK BOLA BERODA MENGGUNAKAN KAMERA Stereo Vision DENGAN METODE*. 2025.
- [9] M. Nasir, "Penerapan Gyrodometry Pada Three Omni Wheels Untuk Robot Sepak Bola Beroda," pp. 1–47, 2020.
- [10] R. Kabir, Y. Watanobe, M. R. Islam, and K. Naruse, "Enhanced Robot Motion Block of A-Star Algorithm for Robotic Path Planning," *Sensors*, vol. 24, no. 5, 2024, doi: 10.3390/s24051422.
- [11] W. Darmawan, M. Basuki Rahmat, A. Khumaidi, R. Yudha Adhitya, and D. Pristovani Riananda, "Perancangan Strategi Keputusan Robot Sepak Bola Beroda menggunakan Metode Decision Tree," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 2, pp. 175–182, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i2.3020.