ANALISIS PERFORMA SISTEM PELACAKAN ROBOT BERODA BERBASIS ROTARY ENCODER DENGAN MIKROKONTROLER ARDUINO

[1]Siratullah Bahtiar Ahmad, [2]Kiki Mukhlis

[1,2,] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Semarang, Indonesia

Email: Bahtiar323@std.unwahas.ac.id

Abstract—This study presents a performance analysis of a wheeled robot tracking system utilizing rotary encoders for position and orientation sensing. The system, built around an Arduino Uno microcontroller, is designed to provide real-time location mapping and trajectory tracking. The research addresses the challenge of accurate indoor robot navigation by integrating data from two rotary encoders mounted on the robot's wheels. The methodology involves developing an odometry algorithm to calculate the robot's position based on wheel rotations. The data, including distance, speed, and heading, is then transmitted to a computer for visualization and control via a LabVIEW graphical user interface. Experimental results demonstrate the system's ability to effectively track the robot's path, with detailed performance metrics analyzed to evaluate accuracy and precision under various movement conditions. The findings indicate that the system provides a reliable and cost-effective solution for basic mobile robot localization, laying the groundwork for more complex autonomous navigation applications.

Keywords—Wheeled Robot, Rotary Encoder, Arduino, LabVIEW, Odometry, Localization, Tracking System.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi robotika telah berkembang pesat, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan kemampuan navigasi mandiri, seperti di lingkungan industri, medis, dan layanan. Salah satu tantangan utama dalam robotika mobile adalah lokalisasi dan pelacakan posisi yang akurat, yang merupakan fondasi untuk navigasi otonom. Metode lokalisasi sering kali mengandalkan berbagai sensor, seperti GPS, kamera, atau sensor laser (LIDAR). Namun, penggunaan sensor-sensor ini dapat terkendala oleh biaya yang tinggi, kebutuhan daya yang besar, atau performa yang tidak optimal di lingkungan dalam ruangan (indoor). Odometri, yang memanfaatkan data dari encoder putaran, menawarkan solusi alternatif yang lebih terjangkau dan efisien. Meskipun rentan terhadap akumulasi eror seiring waktu, kombinasi odometri dengan teknik lain dapat meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa sistem pelacakan robot beroda yang menggunakan encoder putar sebagai sensor utama. Sistem ini akan diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino dan divisualisasikan menggunakan LabVIEW, untuk memberikan solusi yang terintegrasi dan mudah diterapkan. Analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang akurasi dan presisi sistem odometri sederhana, serta potensinya untuk aplikasi praktis dalam lokalisasi robot.

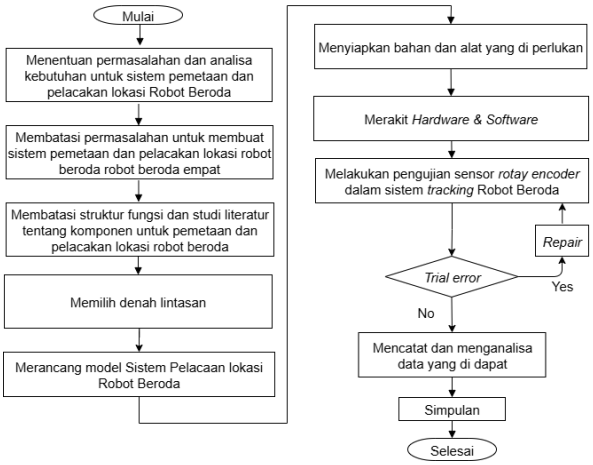
Tinjauan pustaka mengenai sistem navigasi robot mobile menyoroti peran odometri, yang mengukur putaran roda untuk menentukan posisi. Penelitian awal oleh Borenstein dan Koren (1991) telah

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

mengidentifikasi sumber-sumber kesalahan odometri, seperti selip roda. Untuk mengatasi hal ini, literatur modern (seperti karya A.J. LaValle, 2006) mengusulkan kombinasi odometri dengan sensor lain menggunakan filter, seperti Kalman Filter. Dalam implementasinya, penggunaan rotary encoder sebagai sensor utama sangat umum, didukung oleh mikrokontroler seperti Arduino yang hemat biaya, dan perangkat lunak visual seperti LabVIEW untuk pemantauan real-time. Kombinasi ketiga komponen ini menawarkan solusi praktis dan efisien untuk lokalisasi robot.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental yang komprehensif, dengan serangkaian tahapan yang terstruktur secara sistematis, untuk mengevaluasi dan menganalisis secara mendalam performa dari sistem pelacakan robot beroda yang telah dirancang. Metodologi penelitian, yang diilustrasikan secara detail pada Gambar 1, dimulai dari tahap perumusan masalah dan studi literatur yang ekstensif. Setelah itu, penelitian berlanjut ke tahap perancangan sistem secara keseluruhan, baik dari segi perangkat keras maupun perangkat lunak, yang diikuti dengan proses implementasi dan integrasi komponen-komponen tersebut. Tahap selanjutnya adalah pengujian fungsional dan performa sistem di bawah berbagai skenario, diikuti dengan pengumpulan dan analisis data. Seluruh proses ini diakhiri dengan penarikan kesimpulan yang solid dan penyusunan laporan akhir yang terperinci.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Gambar 3.1 adalah diagram alir yang menjelaskan langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir Anda. Diagram ini dimulai dari studi literatur dan perumusan masalah, kemudian berlanjut ke perancangan sistem, pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem, analisis data, dan diakhiri dengan penarikan kesimpulan serta penyusunan laporan.

A. Perancangan dan Pengembangan Sistem

Akurasi, Eror, dan Presisi

Akurasi didefinisikan sebagai tingkat kedekatan antara hasil pengukuran atau perhitungan dengan nilai sebenarnya atau nilai acuan. Suatu metode dianggap memiliki akurasi yang tinggi apabila hasil yang diperoleh sangat mendekati nilai yang seharusnya. Sebaliknya, presisi mengukur konsistensi dan keterulangan hasil pengukuran dalam serangkaian percobaan yang dilakukan secara berulang pada sampel yang sama. Presisi yang baik ditandai dengan variasi data yang rendah, tanpa harus mempertimbangkan kebenaran nilai tersebut.

Dalam analisis numerik, eror didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai sebenarnya

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

(x) dan nilai yang diperoleh dari hasil observasi atau aproksimasi (x′). Salah satu metrik yang digunakan untuk mengukur eror adalah eror absolut, yang dihitung sebagai nilai absolut dari selisih kedua nilai tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.1):

$$\epsilon A = | x - x' | \quad (2.1)$$

Selain eror absolut, eror relatif digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesalahan dalam konteks nilai sebenarnya, yang sering kali dinyatakan dalam persentase. Eror relatif dihitung dengan membandingkan eror absolut dengan nilai sebenarnya, seperti yang dirumuskan dalam Persamaan (2.2):

$$\epsilon R = \frac{|x - x'|}{x} \times 100\% \quad (2.2)[17].$$

Untuk mengukur presisi, digunakan simpangan baku relatif (Relative Standard Deviation/RSD), yang merupakan simpangan baku yang dinormalisasi terhadap nilai rata-rata pengukuran. RSD dihitung dengan Persamaan (2.3), di mana SD adalah simpangan baku dan $\bar{x}$ adalah rata-rata pengukuran Simpangan baku (SD) itu sendiri dihitung menggunakan Persamaan (2.3):

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.3)$$

Nilai RSD yang rendah (umumnya ≤ 2%) mengindikasikan tingkat presisi dan konsistensi data yang tinggi, yang menjadi kriteria penting dalam validasi metode analisis.

Perancangan Perangkat Keras

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah prototipe robot beroda yang memiliki dimensi fisik 105 x 50 x 70 cm (P x L x T). Desain sistem pelacakan lokasi robot ini memanfaatkan koneksi nirkabel untuk mengirimkan data secara real-time ke laptop. Komponen utama yang digunakan dalam perancangan ini dirangkum dalam Tabel 1. Sistem ini menggunakan dua rotary encoder optik LPD 3806 400 BM yang berfungsi sebagai sensor utama untuk mengukur pergerakan roda. Satu encoder, diposisikan secara vertikal di bagian belakang (Encoder X), berfungsi untuk mendeteksi pergerakan maju atau mundur. Sementara itu, satu encoder lainnya, diposisikan secara horizontal di bagian depan (Encoder Y), berfungsi sebagai sensor untuk mendeteksi pergerakan belok kanan atau kiri. Masing-masing encoder menghasilkan 1600 pulsa per putaran (tick), yang kemudian dihitung oleh mikrokontroler.

Tabel 2.1 Spesifikasi Perangkat Keras Utama

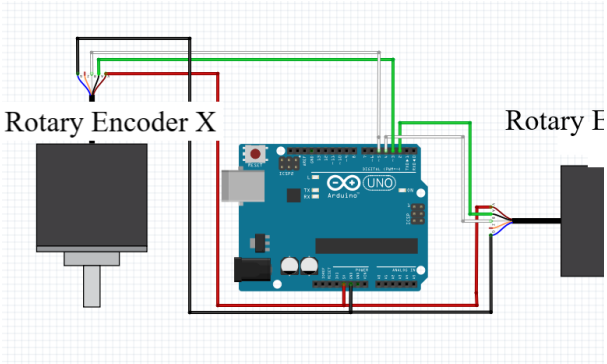
Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Sistem
Rotary Encoder	LPD3806-400BM (400 PPR, incremental, quadrature A/B)	Mengukur jumlah putaran roda untuk menentukan jarak tempuh dan arah pergerakan (melalui beda fase kanal A/B).
Mikrokontroler	Arduino Uno (ATmega328P, 16 MHz)	Membaca pulsa encoder (interrupt), memproses dan menghitung posisi koordinat (x, y), serta kecepatan.
Modul Nirkabel	Bluetooth HC-05 (UART, 9600–115200 bps)	Mengirim data posisi, jarak, dan lintasan robot ke laptop/PC.
Roda	Omnidirectional, Ø 10 cm	Memungkinkan gerak ke segala arah. Keliling roda ≈ 31,4 cm per 1 putaran penuh.
Motor & Driver	Motor DC 48 V, Driver/Controller 36 V	Menggerakkan roda robot sesuai perintah kecepatan/arah.

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Sistem
Catu Daya	Power supply 36 V, adaptor 12 V	Menyediakan daya untuk motor/driver (36 V) dan logika (Arduino/HC-05 via 12 V → 5 V).

Tabel berikut menunjukkan komponen utama yang digunakan dalam sistem navigasi robot. Rotary encoder berfungsi mengukur putaran roda, sedangkan Arduino Uno memproses data untuk menghitung posisi (x,y). Data hasil perhitungan dikirimkan melalui modul Bluetooth HC-05, sementara roda omnidirectional dan motor DC memungkinkan pergerakan ke segala arah. Seluruh sistem mendapat suplai daya dari power supply dan adaptor yang menjaga kestabilan operasi.

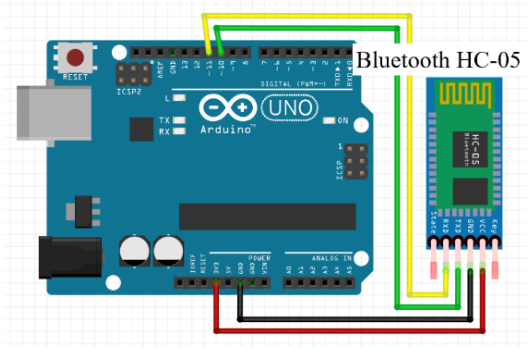
Gambar 2.1 Skema Rangkaian Rotary Encoder dan Arduino



Berdasarkan Gambar 2.1, sistem pelacakan robot ini menggunakan dua buah rotary encoder yang dipasang dengan konfigurasi berbeda untuk memastikan pengukuran pergerakan yang komprehensif. Encoder Y diposisikan secara horizontal pada bagian depan robot, terhubung langsung ke mikrokontroler Arduino Uno untuk secara akurat mendeteksi dan mengukur setiap gerakan belok ke kanan maupun ke kiri. Sementara itu, encoder X ditempatkan secara vertikal di bagian belakang robot. Fungsi utamanya adalah untuk mengukur pergerakan linier robot, baik pergerakan maju maupun mundur. Kombinasi dari kedua encoder ini memungkinkan sistem untuk mengukur pergerakan dalam dua sumbu, yaitu sumbu X (maju/mundur) dan sumbu Y (belok), yang merupakan dasar dari perhitungan odometri robot.

Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem ini terdiri atas dua bagian utama, yaitu program pada mikrokontroler Arduino dan program visualisasi menggunakan LabVIEW. Program Arduino dikembangkan dengan Arduino IDE menggunakan bahasa C untuk membaca sinyal dari kedua rotary encoder, kemudian mengolahnya menjadi data posisi. Data tersebut dikirim secara nirkabel melalui modul Bluetooth HC-05 dengan baud rate 9600. Selanjutnya, program LabVIEW berfungsi sebagai antarmuka visual yang memetakan data odometri menjadi lintasan robot. Data pulsa yang diterima dari Arduino dikonversi menjadi jarak tempuh dan divisualisasikan secara real-time dalam bentuk grafik dua dimensi.



Gambar 2.2 Skema Rangkaian Bluetooth HC-05 dan Arduino

Gambar 2.2 memperlihatkan penggunaan modul Bluetooth HC-05 yang berfungsi untuk mengirimkan data hasil pemrosesan Arduino ke laptop secara

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

nirkabel. Modul ini terhubung melalui empat pin utama, yaitu pin VCC (kabel merah) sebagai sumber tegangan, pin GND (kabel hitam) sebagai ground, serta pin TX dan RX (kabel hijau dan kuning) yang digunakan sebagai jalur komunikasi serial antara modul Bluetooth HC-05 dan Arduino.

Tahapan Pengujian

. Pengujian prototipe robot dilakukan di lingkungan laboratorium Teknik Elektro yang luas, berukuran 17m x 9m . Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan kinerja sistem pelacakan robot yang telah dikembangkan. Pengujian dilaksanakan secara bertahap, dimulai dari verifikasi komponen individu hingga pengujian fungsionalitas sistem secara keseluruhan.

Untuk mengukur akurasi, robot dioperasikan di atas lintasan yang telah ditentukan di lantai laboratorium. Data yang dihasilkan oleh rotary encoder kemudian diproses oleh LabVIEW, yang akan mencatat informasi tentang posisi dan orientasi robot. Data ini kemudian dianalisis untuk dibandingkan dengan nilai aktual yang diukur secara manual. Tabel 2.2 di bawah ini merangkum parameter dan metode pengukuran yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 2.2 Parameter dan Metode Pengukuran Akurasi

Parameter yang Diukur	Metode Pengukuran
Jarak Tempuh (cm)	Dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan pita ukur.
Orientasi Sudut (°)	Dibandingkan dengan nilai sudut yang diukur menggunakan protractor digital.
Akurasi & Presisi	Dihitung dari persentase selisih antara nilai terukur oleh sistem dan nilai aktual.

Hasil pengujian ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik dan tabel data untuk menganalisis eror dan deviasi yang terjadi . Contoh data yang dianalisis mencakup perbandingan antara lintasan yang diprediksi oleh sistem odometri dengan lintasan aktual di lapangan. Analisis ini memberikan wawasan kritis mengenai keandalan sistem pelacakan berbasis encoder dalam skenario praktis.

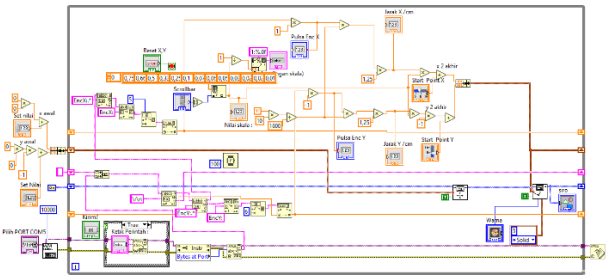
III. HASIL DAN DISKUSI

A. HASIL

Bagian ini menyajikan hasil implementasi sistem pelacakan lokasi robot dan analisis performa berdasarkan pengujian eksperimental. Hasil yang ditampilkan mencakup integrasi perangkat keras dan lunak, serta analisis data odometri yang diperoleh selama pengujian lintasan.

Integrasi Sistem dan Hasil Pengujian Fungsional

Pada tahap awal, seluruh perangkat keras Arduino Uno, dua rotary encoder, dan Bluetooth HC-05 berhasil diintegrasikan sesuai skema, dengan perakitan dan pengkabelan presisi sehingga koneksi kokoh dan fungsi optimal. Gambar 1 (diagram blok) menunjukkan alur data: pulsa encoder → diproses Arduino → dikirim nirkabel via Bluetooth → diterima LabVIEW untuk visualisasi dan analisis.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Pelacakan Robot

Pengujian verifikasi menunjukkan fungsionalitas dasar terpenuhi: rotary encoder membaca pulsa secara presisi, Arduino Uno mengakuisisi dan mengirim data via Bluetooth HC-05 ke laptop, sementara LabVIEW menerima,

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

mengonversi ke koordinat (x, y), dan memvisualisasikan lintasan secara real-time. Integrasi perangkat keras–perangkat lunak berjalan efektif, menjadi landasan untuk analisis performa berikutnya dan menegaskan sistem siap uji akurasi.

Analisis Perhitungan Odometri

Perhitungan odometri pada penelitian ini didasarkan pada data pulsa yang dihasilkan oleh rotary encoder LPD 3806 400 BM. Setiap putaran roda menghasilkan 1600 pulsa. Dengan diameter roda 10 cm. Jarak tempuh dihitung dari pulsa **Encoder X** (untuk pergerakan maju/mundur) dan **Encoder Y** (untuk pergerakan lateral/belok). Analisis eror dilakukan dengan menghitung **eror absolut** dan **eror relatif** dari rata-rata hasil pengujian. Berikut adalah ringkasan hasil dari berbagai pengujian lintasan.

Hasil pengujian lintasan lurus menunjukkan tingkat akurasi sistem yang cukup baik. Pada lintasan 1 meter, diperoleh rata-rata jarak terukur sebesar 102,1 cm, sedangkan jarak aktual adalah 100 cm. Eror absolut dihitung sebesar:

$$error\ Absolut\ = |100 - 102{,}1| = 2{,}5cm$$

dan eror relatif sebesar:

$$error\ Relatif\ = \frac{|100 - 102{,}1|}{100} \times 100\% = 2{,}5\ \%$$

Nilai ini menunjukkan akurasi yang baik pada jarak pendek.

Pada lintasan 5 meter, diperoleh jarak terukur rata-rata 500,8 cm dibandingkan jarak aktual 500 cm. Eror absolutnya adalah:

$$error\ Absolut\ = |500 - 500{,}8| = 0{,}8cm$$

dan eror relatif:

$$error\ Relatif\ = \frac{|500 - 500{,}8|}{500} \times 100\% = 0{,}16\ \%$$

Nilai eror yang sangat kecil ini menunjukkan konsistensi sistem pada jarak menengah

Selanjutnya, pada lintasan 10 meter, diperoleh jarak terukur rata-rata 1006,4 cm dibandingkan jarak aktual 1000 cm. Eror absolut yang dihasilkan sebesar:

$$error\ Absolut\ = |1000 - 1006{,}4| = 9{,}9cm$$

dan eror relatif:

$$error\ Relatif\ = \frac{|1000 - 1006{,}4|}{1000} \times 100\% = 0{,}99\ \%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa akurasi tetap terjaga meskipun jarak pengujian semakin besar.

Terakhir, pada lintasan 15 meter, diperoleh rata-rata jarak terukur 1511,8 cm dibandingkan jarak aktual 1500 cm. Eror absolut tercatat sebesar:

$$error\ Absolut\ = |1500 - 1511{,}8| = 13{,}6cm$$

dan eror relatif:

$$error\ Relatif\ = \frac{|1500 - 1511{,}8|}{1500} \times 100\% = 0{,}90\ \%$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan akumulasi eror pada jarak yang lebih jauh, sistem masih mampu memberikan akurasi tinggi dengan eror relatif di bawah 1%. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa sistem odometri yang dikembangkan cukup andal untuk lintasan lurus pada berbagai jarak.

Hasil Pengujian Performa Sistem

Bagian ini menyajikan hasil rinci dari pengujian performa sistem pelacakan robot di berbagai lintasan, baik lurus maupun berbelok. Data yang diperoleh dari setiap skenario dianalisis untuk

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

mengevaluasi akurasi dan presisi sistem. Pengujian lintasan lurus dilakukan pada beberapa jarak yang berbeda untuk melihat bagaimana performa sistem terpengaruh oleh peningkatan jarak tempuh. Tabel 3.1 merangkum hasil rata-rata dari pengujian pada jarak 1m, 5m, 10m, dan 15m.

Tabel 3.1 Ringkasan Hasil Pengujian Lintasan Lurus

Jarak Aktual (cm)	Rata-rata Jarak Terukur (cm)	Eror Absolut (cm)	Eror Relatif (%)
100	102,1	2,1	2,10
500	500,8	0,8	0,16
1000	1006,4	6,4	0,64
1500	1511,8	11,8	0,78

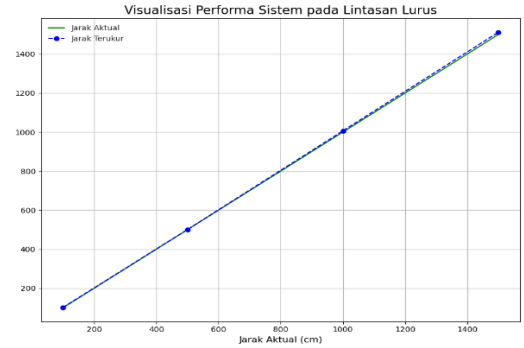
Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa eror relatif untuk lintasan lurus tetap berada di bawah 1% pada jarak 5 m, 10 m, dan 15 m. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki presisi dan konsistensi yang tinggi dalam pergerakan lurus. Meskipun terjadi peningkatan nilai eror pada jarak yang lebih jauh, fenomena tersebut merupakan akibat dari akumulasi kesalahan odometri, yang umum terjadi pada sistem navigasi berbasis encode.

Pada pengujian lintasan belok, total jarak dihitung dengan mengombinasikan pergerakan pada sumbu X dan Y. Ringkasan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Ringkasan Hasil Pengujian Lintasan Belok

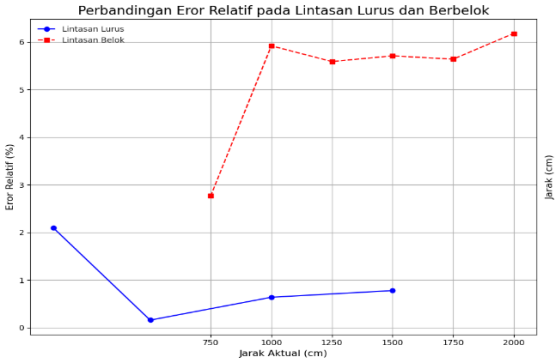
Skenario Uji	Jarak Aktual (cm)	Jarak Terukur Rata-rata (cm)	Eror Relatif (%)
5 m lurus + 2,5 m belok	750	729,2	2,77
5 m lurus + 5 m belok	1000	940,8	5,92
10 m lurus + 2,5 m belok	1250	1180,1	5,59
10 m lurus + 5 m belok	1500	1414,3	5,71
15 m lurus + 2,5 m belok	1750	1651,3	5,64
15 m lurus + 5 m belok	2000	1876,5	6,18

Data menunjukkan eror relatif lintasan belok lebih tinggi dibanding lurus. Contoh: 5 m lurus + 2,5 m belok menghasilkan 729,2 cm vs 750 cm (eror 2,77%); 10 m + 5 m (5,71%); 15 m + 5 m (6,18%). Kenaikan eror dipicu selip roda saat manuver, pergeseran beban/kontak roda, serta akumulasi eror odometri dari integrasi gerak pada dua sumbu/segmen. Meski akurasi menurun pada lintasan kompleks, sistem odometri tetap mencapai >93% di semua skenario, sehingga layak dan ekonomis untuk lokalisasi indoor pada lingkungan terkontrol.



Grafik 3.2 Perbandingan Performa pada Lintasan Lurus

Grafik ini memvisualisasikan data dari Tabel 3.1. Garis biru dan garis merah mewakili eror relatif pada lintasan lurus dan berbelok, yang menunjukkan bagaimana tingkat kesalahan berubah seiring bertambahnya jarak.



Grafik 3.3 Perbandingan Performa pada Lintasan Belok

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

Grafik ini secara spesifik memvisualisasikan data yang diperoleh dari Tabel 3.2, yang merangkum hasil pengujian pada lintasan berbelok, serta mengintegrasikannya dengan temuan dari seluruh skenario pengujian yang melibatkan manuver belok.Pergerakan yang tidak linear, seperti belok kanan, menyebabkan adanya perbedaan putaran roda yang lebih ekstrem. Apabila terjadi selip, data pulsa yang direkam oleh rotary encoder menjadi tidak akurat, sehingga memengaruhi perhitungan posisi. Dengan demikian, grafik ini berfungsi sebagai bukti visual yang solid untuk mendukung kesimpulan bahwa odometri murni memiliki keterbatasan signifikan saat dihadapkan pada pergerakan dinamis yang tidak hanya lurus.

B. DISKUSI.

Uji menunjukkan sistem pelacakan berbasis rotary encoder sangat akurat di lintasan lurus (error relatif <1%) namun menurun di lintasan berbelok (2–6%), karakteristik umum odometri murni. Penyebab utama: selip roda saat diferensial kecepatan pada belokan, akumulasi bias karena odometri tanpa koreksi eksternal, serta ketidakrataan permukaan yang memicu deviasi kecil namun terakumulasi. Meski demikian, solusi ini tetap layak dan hemat biaya untuk lokalisasi indoor; akurasi pada lintasan kompleks dapat ditingkatkan dengan fusi sensor (odometri + IMU/kamera) dan Kalman/Particle Filter untuk koreksi real time dan ketahanan terhadap variasi permukaan.

IV. CONCLUSION

Berdasarkan serangkaian eksperimen yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem pelacakan robot beroda yang andal dengan memanfaatkan mikrokontroler Arduino dan sensor rotary encoder, serta didukung oleh antarmuka visualisasi berbasis LabVIEW. Hasil pengujian performa menunjukkan bahwa sistem ini mencapai tingkat akurasi yang sangat tinggi untuk pergerakan lurus, dengan eror relatif yang konsisten berada di bawah 1% pada jarak 5 hingga 15 meter. Temuan ini secara tegas membuktikan bahwa odometri yang mengandalkan rotary encoder merupakan metode yang efektif dan efisien untuk aplikasi lokalisasi dalam lingkungan yang terkontrol.

Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi adanya keterbatasan signifikan pada sistem ketika dihadapkan pada lintasan yang melibatkan manuver berbelok. Pengujian pada skenario ini menunjukkan peningkatan eror relatif secara signifikan, yang puncaknya mencapai 6,175% pada lintasan terpanjang. Fenomena ini dapat diatribusikan pada faktor-faktor internal, terutama selip roda dan akumulasi eror odometri yang merupakan karakteristik inheren dari sistem navigasi internal. Meskipun demikian, akurasi rata-rata sistem secara keseluruhan tetap berada di atas 93%, menegaskan kelayakannya sebagai solusi yang ekonomis dan fungsional untuk kebutuhan lokalisasi dasar.

Untuk mengatasi keterbatasan yang telah teridentifikasi dan meningkatkan performa sistem di masa depan, beberapa langkah strategis disarankan. Pertama, integrasi data dari rotary encoder dengan sensor eksternal, seperti IMU (Inertial Measurement Unit) atau kompas digital, sangat dianjurkan. Pendekatan fusi sensor ini, yang dapat diimplementasikan dengan algoritma seperti Kalman Filter, akan secara signifikan meningkatkan akurasi, terutama pada lintasan yang kompleks, dengan cara mengoreksi eror odometri yang terakumulasi akibat selip roda atau ketidaksempurnaan mekanis. Kedua, optimasi pada aspek perangkat keras dapat

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

dilakukan, seperti penggunaan material roda dengan koefisien gesekan yang lebih tinggi untuk meminimalisasi selip. Terakhir, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada pengujian sistem di lingkungan yang lebih beragam dan tidak terkontrol, serta pengembangan algoritma yang lebih canggih untuk mengkompensasi eror secara otomatis.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim (UNWAHAS), Semarang atas fasilitas laboratorium dan dukungan teknis selama perancangan, pengujian odometri, serta integrasi Arduino–LabVIEW. Apresiasi diberikan kepada rekan-rekan Laboratorium Sistem Kendali & Robotika atas bantuan perakitan perangkat keras dan verifikasi skema encoder–Bluetooth. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada reviewer anonim atas saran konstruktif yang memperbaiki kualitas naskah ini. Segala kekeliruan yang tersisa sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

REFERENCES

[1] C. B. Dewa, C. Christiand, A. D. Soewono, and M. Darmawan, "Rancang Bangun Sistem Informasi Posisi Untuk Robot Beroda Berbasis Rotary Encoder dan GPS Receiver," Cylind. J. Ilm. Tek. Mesin, vol. 7, no. 2, pp. 11–19, 2021, [Online]. Available: https://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/cylinder/article/view/3982

[2] T. A. Putra, M. Muliady, and D. Setiadikarunia, "Navigasi Indoor Berbasis Peta pada Robot Beroda dengan Platform Robot Operating System," Jetri J. Ilm. Tek. Elektro, vol. 17, no. 2, pp. 121–144, 2020, doi: 10.25105/jetri.v17i2.5447.

[3] A. J. Tamamy, Z. Arifin, B. K. Zulfika, W. Alfani, W. S. Gunawan, and F. Teknik, "Pemetaan Ruangan pada Robot Beroda Menggunakan Sensor LiDAR," Appl. Ind. Eng. J., vol. 7, no. 1, pp. 9–16, 2023, [Online]. Available: http://publikasi.dinus.ac.id/index.php/aiej/index

[4] F. Irsyadi, J. Hendry, P. M. Rafief, and A. B. Sasongko, "Perancangan Low-Cost Testbed Untuk Validasi Lokasi dan Orientasi Mobile Robot," Teknika, vol. 13, no. 1, pp. 65–70, 2024, doi: 10.34148/teknika.v13i1.714.

[5] M. Aliff et al., "Development of Pipe Inspection Robot using Soft Actuators, Microcontroller and LabVIEW," Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl., vol. 13, no. 3, pp. 349–354, 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130343.

[6] D. S. Pongoh, M. Budiman, D. Kantohe, and V. Lumentut, "Implementasi Software LabVIEW untuk Mendukung Sistem Smart Home Berbasis Mikrokontroler," Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin., vol. 12, pp. 394–400, 2021, [Online]. Available: https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2725

[7] A. Rachmawan, "Penentuan Posisi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Rotary Encoder dan Kamera," Tugas Akhir ITS, vol. 4, no. November, pp. 172–176, 2017, [Online]. Available: http://repository.its.ac.id/44447/%0Ahttps://repository.its.ac.id/41995/%0Ahttps://repository.its.ac.id/41995/1/2213106021-Undergraduate-Thesis.pdf

[8] M. Muqorrobin, "Rancang Bangun Pengendalian Robot Beroda Berbasis Arduino Menggunakan Komunikasi Wireless," JTET (Jurnal Tek. Elektro Ter., pp. 143–148, 2016, [Online]. Available: https://jurnal.polines.ac.id/index.php/jtet/article/view/73

[9] M. J. C. Manullang, M. K. D. Hardhienata, and K. Priandana,

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib

"Kendali Robot Beroda Otonom dengan Inverse Kinematics," J. Ilmu Komput. dan Agri-Informatika, vol. 7, no. 1, pp. 62–73, 2020, doi: 10.29244/jika.7.1.62-73.

[10] Hanif Fata Mustaqiim, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Pergerakan Tanah Menggunakan SensorRotary Encoder, Mikrokontroler ESP32, Modul RF 915MHZ Dan Tampilan BerbasisPython," pp. 1–80, 2022, [Online]. Available: https://digilib.uin-suka.ac.id/id/eprint/51036/1/17106020033_HANIF_FATA_MUSTAQIIM_FULLTEXT.pdf

[11] Marcus Gunadi and Lawrence Adi Supriyono, "Konsep Serial Komunikasi Antar Bluethoot Sebagai Master Dan Slave Untuk Bertukar Informasi Digital," Elkom J. Elektron. dan Komput., vol. 12, no. 2, pp. 59–62, 2019, doi: 10.51903/elkom.v12i2.101.

[12] S. Pramono, "Pengendalian Robot Beroda Berbasis Arduino Uno R3 Menggunakan Koneksi Bluetooth," J. Inform. SIMANTIK, vol. 1, no. 1, pp. 12–18, 2016.

[13] T. Tugino, A. Ardityawan, O. Yuliani, A. Asniar, and A. Basuki, "Application of Embedded Hardware Device NI myRIO 1900 as a Control Unit for Miniature Mixing Plant," 2021, doi: 10.4108/eai.30-8-2021.2311523.

[14] National Instruments, "NI myRIO-1900 User Guide and Specifications - National Instruments; NI myRIO-1900 User Guide and Specifications - National Instruments," 2023.

[15] S. Triyani, "Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Fuzzy Setting Point pada Labview," J. Appl. Electr. Eng., vol. 2, no. 1, pp. 6–11, 2018, doi: 10.30871/jaee.v2i1.1076.

[16] M. M. Przybylski, "Book Review: Electronic Instrumentation and Measurement Techniques," 1986. doi: 10.1177/002072098602300107.

[17] M. Rosidi, Metode numerik menggunakan R untuk teknik lingkungan. 2019. [Online]. Available: https://bookdown.org/moh_rosidi2610/Metode_Numerik/

[18] Y. Malik, "Akurasi dan Presisi Analisis Kadar Nikel (Ni) pada Sampel Nikel Laterit Menggunakan X-Ray Fluorescence Spectometry (XRF)," Sains J. Kim. dan Pendidik. Kim., vol. 12, no. 2, pp. 87–94, 2024, doi: 10.36709/sains.v12i2.47.

[19] S. Garudeswaran, S. Cho, I. Ohu, and A. K. Panahi, "Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital," Minim. Invasive Surg., vol. 2018, no. April, 2018, doi: 10.1155/2018/4815761.

ISSN 3123-5549 (online) DOI 10.30659/pulse-jeib