

Implementasi Sistem Navigasi Dan Lokalisasi Berbasis Odometry Menggunakan Sensor Imu Dan Rotary Encoder Pada Robot Sepak Bola Beroda

1st Fauzi Hamdani
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

fauzihamdani@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Simon Siregar
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

simon.siregar@tass.telkomuniversity.ac.id

3rd Muhammad Ikhсан Sani
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ikhsansani@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Robot sepak bola beroda merupakan salah satu kategori yang diperlombakan ditingkat nasional maupun internasional. Robot sepak bola beroda harus mempunyai kemampuan untuk mengetahui posisi ketika di lapangan pertandingan. Penentuan posisi atau lokalisasi dan navigasi merupakan hal yang sangat penting pada robot sepak bola beroda. Sistem lokalisasi bertujuan untuk membantu robot dalam mengetahui posisi ketika bergerak secara otomatis saat berada dalam lapangan pertandingan. Sistem lokalisasi yang diterapkan menggunakan metode Odometry untuk mengetahui perpindahan atau jarak tempuh robot berdasarkan perputaran dari Rotary Encoder dan dilengkapi sensor Gyroscope. Dalam penentuan posisi robot ini, sensor Rotary Encoder akan mengirimkan sinyal digital ke mikrokontroler sehingga menghasilkan *output* berupa *pulse* yang kemudian ditranslasikan dalam bentuk titik koordinat x dan y . Sedangkan sensor Gyroscope akan menghasilkan *output* berupa sudut θ dari sumbu *yaw* pada Gyroscope untuk menentukan arah hadap dari robot. Sistem navigasi dan lokalisasi tersebut dihubungkan oleh *framework Robot Operating System* yang terintegrasi dengan sistem lainnya. Berdasarkan hasil pengujian, robot dapat bergerak sesuai perintah navigasi pada lapangan dan dapat menentukan posisi di lapangan dengan *error* ± 20 cm pada sumbu x dan sumbu y .

Kata Kunci—*Rotary Encoder, Gyroscope, Navigasi, Lokalisasi, Odometry*

I. PENDAHULUAN

Teknologi di abad ke-21 mengalami perkembangan yang sangat signifikan. Perkembangan teknologi membuat kehidupan manusia diberbagai aspek berubah dengan sangat cepat. Teknologi ini umumnya bertujuan untuk membantu pekerjaan manusia. Salah satunya penggunaan teknologi robot. Namun, robot tidak hanya dimanfaatkan untuk membantu pekerjaan manusia, tetapi juga sebagai sarana hiburan manusia yang dapat disalurkan dalam bentuk kompetisi atau pertandingan.

Salah satu ajang kompetisi robotika yang diselenggarakan di Indonesia yaitu Kontes Robot Indonesia (KRI) yang diadakan setiap tahun. Pesertanya merupakan mahasiswa-mahasiswa aktif di seluruh penjuru Indonesia. KRI ini diselenggarakan oleh Pusat Prestasi Nasional (Puspresnas) di bawah naungan Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia. KRI terbagi dalam beberapa kategori, salah satunya Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) Beroda [1]. Bahkan ketegori KRSBI Beroda ini juga termasuk salah satu kategori di kompetisi tingkat internasional yaitu *RoboCup* pada kategori *Middle-Size League (MSL)*.

Salah satu teknologi yang digunakan pada robot sepak bola beroda adalah sistem navigasi dan lokalisasi yang memungkinkan robot bergerak secara otomatis atau *fully autonomous*. Sistem navigasi dan lokalisasi ini sangat diperlukan untuk menentukan posisi robot dan perpindahan atau jarak tempuh robot tersebut dari titik awal. Dengan metode Odometry robot akan dapat melakukan pergerakan yang lebih leluasa.

Metode Odometry yang akan diimplementasikan pada penelitian kali ini menggunakan sensor IMU dan rotary encoder yang diharapkan bisa memperkirakan posisi robot menjadi semakin presisi pada saat berada di lapangan. Tujuannya untuk memudahkan sistem navigasi dan lokalisasi pada robot sepak bola beroda, sehingga didapatkan titik koordinat robot sepak bola beroda saat berada di lapangan. Hasil dari nilai sensor tersebut juga dapat membentuk garis lintasan arah pergerakan robot.

II. KAJIAN TEORI

Pertandingan Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI) Beroda dibutuhkan robot yang memiliki sistem lokalisasi dan navigasi. Dalam penelitian sebelumnya, penentuan posisi robot menggunakan kamera dan Rotary Encoder dan dilengkapi dengan sensor kompas digital. Namun terdapat *error* ketika terjadi slip sehingga dapat mempengaruhi pembacaan sensor encoder[2].

Dalam penelitian lainnya, sistem lokalisasi robot memanfaatkan metode *gyrodometry* yang bertujuan untuk mengetahui posisi yang tepat dan juga menggunakan perhitungan trigonometri untuk menentukan sudut tendangan bola terhadap gawang lawan[3].

Sistem navigasi lainnya menggunakan Omnidirectional Camera yang ada pada penelitian sebelumnya. Akan tetapi, sistem navigasi ini terdapat error yang dipegaruhi beberapa faktor seperti intensitas cahaya, bayangan, frame rate dan area. Perubahan dari beberapa faktor tersebut dapat mengganggu warna ketika memperbarui data citra untuk positioning. Error tersebut membuat sistem pada robot tidak berjalan pada kondisi yang seharusnya[4].

Dalam penelitian yang dilakukan sebelumnya, sistem lokalisasi menggunakan sensor pada *smartphone* Android seperti Kompas dan kamera. Kamera pada android berfungsi untuk mendeteksi objek berupa bola dan gawang, sedangkan sensor Kompas berfungsi untuk mengetahui orientasi arah gawang lawan. Kelemahan pada penelitian ini terdapat pada bagian *positioning* robot yang hanya menggunakan Kompas android tanpa bantuan sensor lain yang mengakibatkan sistem lokalisasi kurang presisi dan robot juga tidak bisa memperkirakan posisi saat di lapangan [5].

Dalam penelitian lainnya, penentuan posisi robot menggunakan Rotary Encoder dengan metode Odometry dan kontrol PID pada sistem kendali robot. Rotary Encoder rawan mengalami slip ketika pembacaan sensor, sehingga mempengaruhi pembacaan data posisi. Kontrol PID diterapkan untuk mengontrol sudut arah hadap robot sehingga dapat meningkatkan kemampuan robot dalam mengetahui posisi saat ini[6].

Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem navigasi atau lokalisasi robot menggunakan sensor camera omnidirectional dengan metode Adaptive Monte Carlo Localization (AMCL) atau Particle Filter Localization. AMCL berfungsi untuk mengestimasi posisi robot dalam lapangan dan mengetahui arah gawang lawan. Metode ini menggenerasi partikel secara acak pada peta, yang berarti robot tidak mempunyai informasi posisi robot yang tepat. Namun, sistem ini terdapat kekurangan dan error yang cukup besar karena hanya menggunakan sensor kamera[7].

III. METODE

A. Perancangan Sistem

Pengembangan sistem yang dilakukan pada penelitian ini adalah sistem navigasi dan lokalisasi untuk menentukan posisi robot dengan metode Odometry. Sistem navigasi yang akan diimplementasikan bertujuan untuk menentukan arah tendangan dan gawang lawan. *Output* dari sensor akan dibaca oleh mikrokontroler Arduino. Kemudian data tersebut dikirim ke Mini PC intel NUC menggunakan komunikasi serial. Dari data yang diterima langsung diproses melalui Mini PC intel NUC. Diagram alur sistem yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



GAMBAR 1 (GAMBARAN SISTEM USULAN)

Penentuan posisi pada robot sepak bola beroda didefinisikan sebagai koordinat x dan y terhadap titik (0, 0) yang telah ditentukan. Posisi robot ini ditentukan oleh dua buah sensor Rotary Encoder dan Gyroscope yang dibaca oleh mikrokontroler Arduino.

1. Perancangan Sistem Lokalisasi

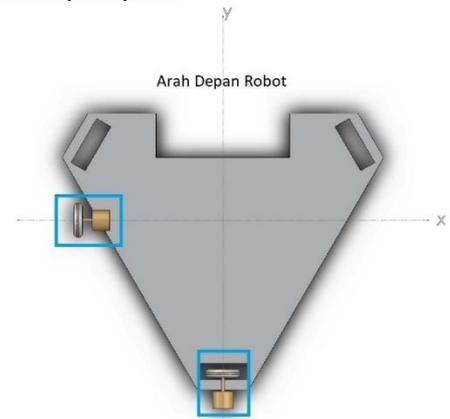
Penentuan lokalisasi atau posisi robot dilakukan menggunakan Rotary Encoder yang dikombinasikan dengan Gyroscope. Rotary Encoder yang terdapat pada robot ini akan menghitung koordinat berdasarkan sumbu x dan y dari titik awal (0, 0).

2. Penerapan Metode Odometry

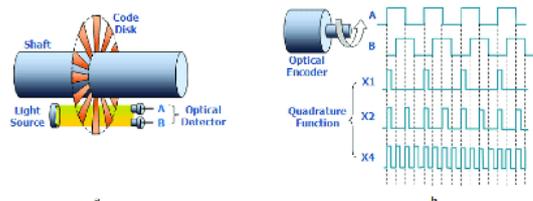
Sistem yang dirancang menggunakan metode Odometry dibangun dengan menggunakan dua buah Rotary Encoder seri E6B2-CWZ6C yang menghasilkan 200 pulse setiap satu putaran, serta sensor Gyroscope dengan seri MPU-6050.

a. Konfigurasi Rotary Encoder

Rotary Encoder dipasang pada omniwheel tersendiri dan terpisah dari roda utama yang terhubung dengan motor DC. Selisih sudut antar encoder adalah 90°, di mana yang satu berada pada posisi sudut 270° dan yang kedua berada pada posisi sudut 180° seperti pada Gambar 2.



GAMBAR 2 (PERANCANGAN POSISI ROTARY ENCODER)



GAMBAR 3 (SKEMA SISTEM ROTARY ENCODER)

Rotary Encoder seri E6B2-CWZ6C memiliki *input* digital seperti pada Gambar 3 dengan menghasilkan 200 *pulse* setiap satu putaran.

Penentuan jarak tempuh dengan menggunakan Rotary Encoder dapat dilakukan dengan perhitungan pada persamaan (1) sebagai berikut :

$$K = 2 \pi r \tag{1}$$

Jadi, setiap satu keliling roda terhitung 200 *pulse*. Kemudian perhitungan *pulse* tersebut dikonversi menjadi jarak dalam satuan centimeter seperti pada persamaan (2) dengan cara :

$$s = \left(\frac{K n}{c}\right) \times 100 \tag{2}$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

K = Keliling roda (cm).

r = Jari-jari roda (cm).

s = Jarak terukur (cm).

n = Jumlah tick atau *pulse* yang terhitung.

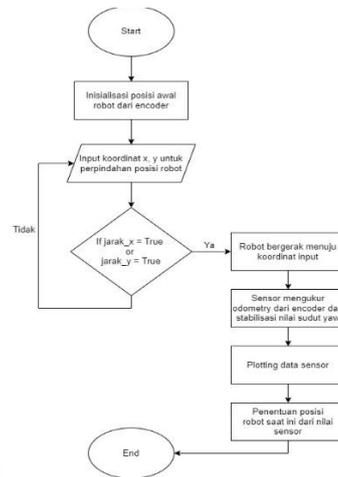
c = Jumlah tick atau *pulse* dalam satu putaran.

b. Interkoneksi Gyroscope

Penggunaan Rotary Encoder akan mengalami error apabila arah muka robot tidak berada pada posisi 0° atau mengarah kedepan, sehingga diperlukan Gyroscope sebagai Kompas digital agar dapat menentukan posisi yang tepat pada segala arah yang terkoneksi dengan Rotary Encoder. Hasil output Sensor Gyroscope dikirim dari mikrokontroler Arduino ke Mini PC Intel NUC melalui komunikasi serial pada ROS.

3. Cara Kerja Sistem

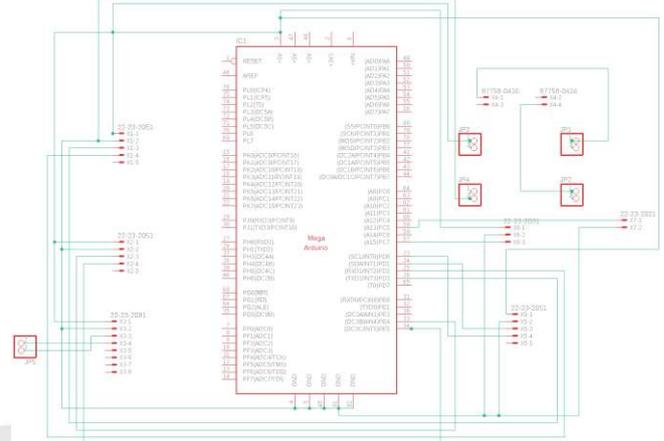
Cara kerja sistem terbagi atas sistem lokalisasi dan sistem navigasi. Diagram alur kerja sistem lokalisasi dapat dilihat pada flowchart dalam Gambar 4. Ketika program robot dijalankan, sistem lokalisasi melakukan inialisasi posisi awal robot terlebih dahulu berupa koordinat titik awal (0, 0). Setelah itu, data jarak diinputkan melalui program python. Setelah itu, mini PC Intel NUC akan membaca input koordinat tersebut untuk mengaktifkan motor penggerak supaya robot berpindah kepada titik koordinat input. Kemudian sensor akan mengukur data Odometry robot yang didapatkan dari sensor rotary encoder dan IMU. Data odometry yang dihasilkan sensor kemudian di-plotting menggunakan grafik, grafik tersebut berupa lintasan pergerakan dari robot sepak bola berada. Setelah robot berpindah program akan menampilkan posisi terbaru robot saat ini.



GAMBAR 4 (FLOWCHART SISTEM NAVIGASI DAN LOKALISASI)

4. Perancangan PCB Shield Arduino Mega

Shield Arduino Mega digunakan untuk memudahkan instalasi dalam menghubungkan pin-pin pada sensor ke Arduino Mega. Pada shield Arduino Mega terdapat 3 port untuk Rotary Encoder yang terhubung dengan pin interrupt yang ada pada Arduino Mega. Selain itu, terdapat juga port untuk meletakkan sensor IMU MPU6050 yang telah terhubung ke pin SCL dan SDA pada Arduino Mega. Skematik shield Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 5.



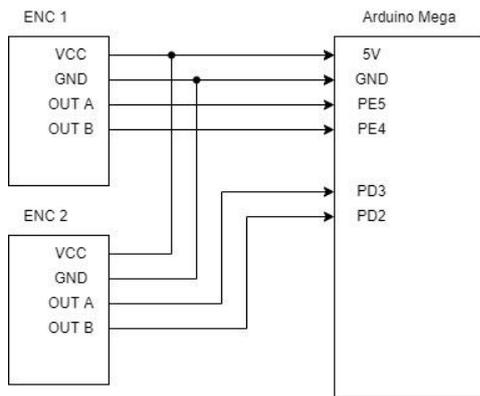
GAMBAR 5 (SKEMATIK SHIELD ARDUINO MEGA)

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi

1. Posisi Rotary Encoder

Berdasarkan perancangan sistem, Rotary Encoder dipasang pada robot sepak bola beroda dengan posisi berada pada sudut 180° dan pada sudut 270° terhadap *frame* robot. Kemudian sensor dihubungkan ke Arduino Mega dengan konfigurasi seperti pada Gambar 6.



GAMBAR 6 (KONFIGURASI PIN ENCODER DENGAN ARDUINO MEGA)

Pin VCC pada Rotary Encoder dihubungkan dengan pin 5V pada Arduino Mega untuk memberikan power pada sensor Rotary Encoder. Pin GND pada Rotary Encoder dihubungkan dengan pin GND pada Arduino Mega. Pin *output A* dan *output B* pada Rotary Encoder masing-masing dihubungkan dengan dua pin interrupt pada Arduino Mega. Sensor Rotary Encoder yang dipasang pada robot dapat dilihat pada Gambar 7.



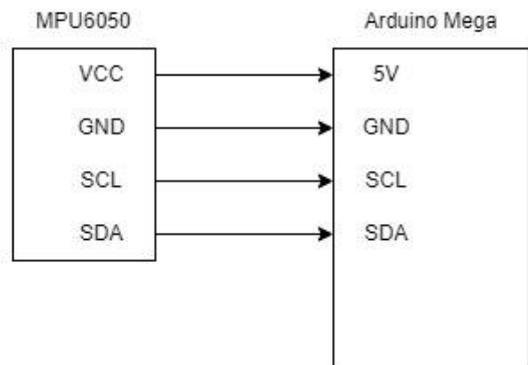
(a) Tampak Belakang (b) Tampak Samping

GAMBAR 7 (POSISI ROTARY ENCODER)

Posisi rotary encoder pada robot tersebut dipasang seperti pada Gambar 7 dengan alasan tidak ada ruang yg tersedia untuk meletakkan sensor pada bagian dalam frame robot. Sehingga, sensor tersebut diletakkan pada bagian luar dari frame robot sepak bola beroda.

2. Konfigurasi Gyroscope

Pin pada sensor MPU6050 dihubungkan dengan Arduino Mega seperti pada Gambar 8. Pin VCC pada Gyroscope dihubungkan dengan pin 5V pada Arduino Mega untuk memberikan power pada sensor MPU6050. Pin GND pada sensor Gyroscope dihubungkan dengan pin GND pada Arduino Mega. Pin SCL dan SDA pada sensor Gyroscope dihubungkan dengan pin SCL dan SDA pada Arduino Mega yang berfungsi untuk mengirimkan data dari sensor ke mikrokontroler.



GAMBAR 8 (KONFIGURASI MPU6050 DENGAN ARDUINO MEGA)

Posisi sensor IMU MPU6050 pada board *shield* ArduinoMega dapat dilihat pada Gambar 9.



GAMBAR 9 (POSISI SENSOR IMU MPU6050)

B. Pengujian

Pengujian dari sistem ini bertujuan untuk mengetahui apakah masalah pada penelitian ini terselesaikan atau tidak. Pengujian pada penelitian ini terdiri atas pengujian Gyroscope dan Rotary Encoder.

1. Pengujian Gyroscope

Tujuan pengujian Gyroscope pada sensor MPU6050 dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *error* yang didapat pada sensor untuk mengetahui arah hadap pada robot.

a. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara memutar robot terhadap sumbu *yaw* sesuai sudut yang telah ditentukan nilainya kemudian mengamati nilai keluaran dari sensor. Hasil keluaran dari sensor dihitung nilai rata-rata dari error dengan rumus RMSE untuk membandingkan nilai aktual dengan nilai hasil pengukuran dari sensor. Contoh perhitungan RMSE pada sensor gyroscope sebagai berikut :

Diketahui data pengukuran sensor gyroscope pada sudut 30° = 28.9°, pada sudut 45° = 45.3°, dan pada sudut 60° = 57.2°.

Tentukan nilai RMSE dari data tersebut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_t^n (|A_t - F_t|)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{((30 - 28.9)^2 + (45 - 45.3)^2 + (60 - 57.2)^2)}{3}}$$

$$= \sqrt{3.046} = 1.74^\circ$$

Jadi, nilai RMSE yang didapat adalah 1.74° .

b. Hasil Pengujian

Berikut hasil dari pengujian sensor Gyroscope yang disajikan pada Tabel 1.

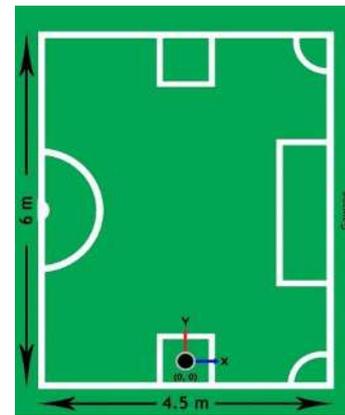
TABEL 1
(DATA PENGUJIAN KE-1 SENSOR GYROSCOPE)

No	Sudut ($^\circ$)	Sudut Terukur ($^\circ$)	Error Sudut ($^\circ$)
1	0	-0.2	0.2
2	10	9.4	0.6
3	20	19.3	0.7
4	30	28.9	1.1
5	40	39.2	0.8
6	50	48.5	1.5
7	60	58.6	1.4
8	70	68.2	1.8
9	80	79.5	0.5
10	90	88.5	1.5
11	100	99.6	0.4
12	110	108.1	1.9
13	120	117.4	2.6
14	130	128.5	1.5
15	140	138.5	1.5
16	150	148.8	1.2
17	160	155.4	4.6
18	170	163.3	6.7
19	180	173.6	6.4
RMSE ($^\circ$)			2.6671

Berdasarkan pengujian ke-1 pada Tabel 1, diperoleh nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 2.6671° pada pengujian sudut sumbu *yaw*.

2. Pengujian Rotary Encoder

Pengujian Rotary Encoder bertujuan untuk mengetahui seberapa besar *error* yang dihasilkan dari sensor Rotary Encoder ketika robot bergerak atau berpindah. Pengujian robot untuk mendapatkan data odometry sensor dilakukan pada lapangan karpet dengan warna hijau berukuran $4,5 \times 6$ meter seperti pada Gambar 10.



GAMBAR 10
(LAPANGAN PENGUJIAN ROBOT SEPAK BOLA BERODA)

a. Skenario Pengujian dengan Metode *Origin to Point*

Pengujian dengan metode *origin to point* ini dilakukan dengan mengubah posisi robot dari titik *origin* (0, 0) menuju titik tertentu. Tujuannya untuk mengetahui seberapa besar *error* yang dihasilkan dari sensor Rotary Encoder ketika robot dipindah dari titik *origin* menuju titik yang telah ditentukan.

Contoh perhitungan RMSE pada sensor rotary encoder pada sumbu x sebagai berikut :

Diketahui data pengukuran sensor rotary encoder pada tabel 2. Tentukan nilai RMSE dari data A2 sampai A4 sumbu x pada tabel tersebut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_t^n (|A_t - F_t|)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{((100 - 109.3)^2 + (150 - 157.2)^2 + (200 - 216.5)^2)}{3}}$$

$$= \sqrt{\frac{(9.3)^2 + (7.2)^2 + (16.5)^2}{3}} = \sqrt{136.86} = 11.7 \text{ cm}$$

Jadi, nilai RMSE yang didapat dari data tersebut adalah 11.7 cm.

b. Hasil Pengujian dengan Metode *Origin to Point*

Berikut merupakan hasil dari pengujian Rotary Encoder secara *origin to point* yang disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2
(DATA PENGUJIAN ROTARY ENCODER ORIGIN TO POINT)

No	Posisi		Posisi Terukur		Error	
	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)
1	0	0	0	0	0	0
2	100	0	109.3	-8.4	9.3	8.4
3	150	0	157.2	-13.1	7.2	13.1
4	200	0	216.5	-12.8	16.5	12.8
5	250	0	257.2	-10.1	7.2	10.1
6	300	0	307.2	-21.7	7.2	21.7
7	0	100	0	132	0	32
8	0	150	2.6	160	2.6	10
9	0	200	3.7	210	3.7	10
10	0	250	2.6	265	2.6	15
11	0	300	0.7	312.4	0.7	12.4
12	100	100	111.4	121.8	11.4	21.8
13	150	150	155.7	161	5.7	11
14	200	200	208	208.5	8	8.5
15	250	250	254.7	256.3	4.7	6.3
16	300	300	312.5	306.6	12.5	6.6
RMSE (cm)					7.692326	14.43392

c. Analisis Hasil Pengujian dengan Metode *Origin to Point*

Berdasarkan hasil pengujian sensor Rotary Encoder dengan metode *origin to point* pada Tabel 2 di atas, diperoleh nilai RMSE sebesar 7.692 cm pada sumbu x dan 14.43 cm pada sumbu y.

d. Skenario Pengujian dengan Metode *Point to Point*

Pengujian dengan metode *point to point* ini dilakukan dengan cara mengubah posisi robot dari titik awal (0, 0) ke titik yang telah ditentukan. Kemudian dilanjutkan ke titik selanjutnya sehingga mencapai posisi tertentu.

e. Hasil Pengujian dengan Metode *Point to Point*

Berikut hasil dari pengujian Rotary Encoder secara *point to point* yang disajikan pada Tabel 3.

TABEL 3
(DATA PENGUJIAN ROTARY ENCODER POINT TO POINT)

No	Posisi		Posisi Terukur		Error	
	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	100	-0.4	108	0.4	8

No	Posisi		Posisi Terukur		Error	
	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)
3	100	100	113.4	99.1	13.4	0.9
4	100	150	112.5	162.7	12.5	12.7
5	150	150	169	158.6	19	8.6
6	150	200	166.5	216.7	16.5	16.7
7	200	200	210.5	212.6	10.5	12.6
8	200	250	209.9	256.4	9.9	6.4
9	250	250	160	248.3	90	1.7
10	250	300	160.5	307.6	89.5	7.6
11	300	300	310.9	301.7	10.9	1.7
12	200	300	189.8	310.2	10.2	10.2
13	200	200	192.4	191.4	7.6	8.6
14	100	200	87.3	194.3	12.7	5.7
15	100	100	89	89	11	11
16	200	100	209.9	86.5	9.9	13.5
17	100	100	90.9	92.9	9.1	7.1
18	0	100	-10.6	95.6	10.6	4.4
19	0	0	-5.6	-7.2	5.6	7.2
20	100	0	107.3	-16.5	7.3	16.5
21	100	200	90.5	210.2	9.5	10.2
22	200	0	216.2	-14.3	16.2	14.3
RMSE (cm)					29.06196	9.672689

f. Analisis Hasil Pengujian dengan Metode *Point to Point*

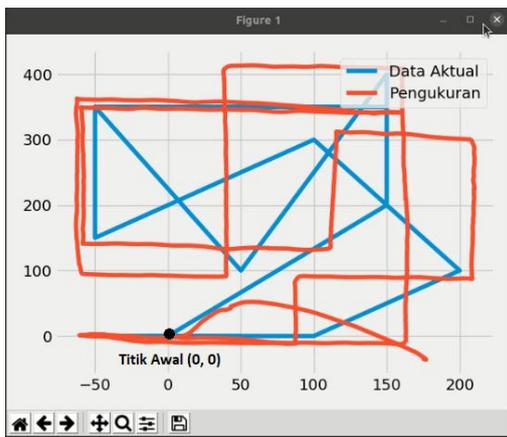
Berdasarkan hasil pengujian sensor Rotary Encoder dengan metode *point to point* pada Tabel 3, diperoleh nilai RMSE sebesar 29.061 cm pada sumbu x dan 9.672 cm pada sumbu y. *Error* yang dihasilkan pada sumbu x cukup besar sehingga robot bergeser dari titik yang ditentukan.

3. Pengujian Posisi dengan Titik Koordinat secara Random

a. Skenario pengujian
Robot digerakkan dari titik awal (0, 0) menuju titik koordinat yang diinputkan secara acak. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui lintasan perpindahan robot melalui plotter yang ditentukan dengan koordinat bola yang dipindahkan secara acak.

b. Hasil Pengujian

Hasil yang didapatkan dari hasil pengujian perpindahan posisi robot dengan titik koordinat yang ditentukan secara acak dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 11.



GAMBAR 11
(LINTASAN PERGERAKAN ROBOT TERHADAP KOORDINAT
YANG DITENTUKAN)

Pada pengujian ini, robot berpindah dari titik awal (0, 0) menuju titik (150, 200) yang merupakan titik saat bola berada di lapangan. Dari titik tersebut robot bergerak menuju titik acak selanjutnya sesuai dengan lintasan aktualnya.

c. Analisis Hasil Pengujian

Perpindahan robot ketika pengujian dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 11 yang merupakan hasil dari pengukuran sensor terhadap lintasan aktual ketika robot berpindah tempat. Perpindahan tersebut menghasilkan lintasan yang dilalui robot selama perpindahan sesuai dengan koordinat yang telah ditentukan pada titik-titik tertentu dalam sistem navigasi. Posisi robot sedikit bergeser dari titik aktual yang ditentukan oleh sistem navigasi.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil akhir penelitian ini yaitu:

- A. Metode Odometry pada sistem navigasi dan lokalisasi robot sepak bola beroda dapat diimplementasikan pada robot sepak bola beroda. Robot dapat menentukan posisi dengan titik koordinat x dan y dengan menggunakan sensor rotary encoder.
- B. Koordinat yang didapatkan dari hasil pengukuran sensor rotary encoder memiliki rata-rata error sebesar 7.69 cm di sumbu x dan 14.33 cm di sumbu y. Pada sensor IMU didapatkan nilai rata-rata error gyroscope sebesar 3° ketika robot melakukan maneuver atau bergerak sehingga arah hadap robot akan mengalami sedikit pergeseran.
- C. Data Odometry yang didapat dari sensor-sensor tersebut di-plotting melalui grafik sehingga didapatkan lintasan pergerakan robot ketika robot bergerak.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, nilai Odometry pada robot mengalami pergeseran dari titik aktual menuju titik yang ditentukan oleh sistem navigasi ketika robot berpindah.

REFERENSI

- [1] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, "Kontes Robot Indonesia 2021," *Puspresnas*, 2021. <https://kontesrobotindonesia.id/index.html> (accessed Dec. 06, 2021).
- [2] A. Rachmawan, "Penentuan Posisi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Rotary Encoder dan Kamera," *Undergrad. thesis, Jur. Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2017.
- [3] A. Khumaidi *et al.*, "Pemetaan Posisi Robot Soccer Menggunakan Gyrodometry," vol. 19, no. 3, 2021.
- [4] F. A. Muhammad and Sisdarmanto Adinandra, "Sistem Navigasi Robot Sepakbola Beroda Menggunakan Omnidirectional Camera," pp. 1–5, 2019.
- [5] D. Suryawan *et al.*, "Rancang bangun robot sepak bola berbasis android," vol. 09, no. 1, pp. 57–73, 2020.
- [6] A. Ramdahani, M. Taufiqurrohman, and J. Subur, "Rancang Bangun Penentuan Posisi Sepak Bola Beroda Menggunakan Metode Odometry Dan Kontrol Pid (Proportional Integral Derivative)," *J. Borneo Inform. dan Tek. Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–51, 2021, doi: 10.35334/jbit.v1i1.2120.
- [7] Muhammad Muchlis Kurnia, "CITRA DIGITAL DAN LOKALISASI PADA ROBOT SEPAK BOLA UKURAN SEDANG DEVELOPMENT OF COMPUTER VISION AND LOCALIZATION SYSTEM ON MIDDLE SIZE ROBOT SOCCER," *D3 Tek. Komputer, Fak. Ilmu Ter. Univ. Telkom, Bandung*, 2019.