

RANCANG BANGUN PENENTUAN POSISI SEPAK BOLA BERODA MENGGUNAKAN METODE ODOMETRY DAN KONTROL PID (*PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*)

Aditya Ramadhani^{1*}, M. Taufiqurrohman², Joko Subur³

¹Universitas Hang Tuah Surabaya, Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur, 60111, Indonesia

²Universitas Hang Tuah Surabaya, Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur, 60111, Indonesia

³Universitas Hang Tuah Surabaya, Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur, 60111, Indonesia

e-mail: ¹ramadhani.aditya@hangtuah.ac.id, ²taufiqurrohman@hangtuah.ac.id,

³joko.subur@hangtuah.ac.id

Diterima
01-10-2021

Direvisi
10-10-2021

Disetujui
19-10-2021

Abstract: *In the Indonesian Wheeled Football Robot Contest (KRSBI) robots are expected to play like humans. One of the most important parts of the robot control system is the positioning of the robot. The odometry method is the most commonly used method to determine the robot's position using readings from a rotary encoder. However, the use of a rotary encoder is prone to slipping so that it will result in an error in the odometry feedback system that gets bigger with time. One of the consequences of the slip is a change in the direction of the robot which will affect the next robot's movement. So it is necessary to use a sensor whose fault is not affected by the previous error. A stable system is also needed to improve actuator performance and robot resource effectiveness. To overcome these problems, this research applies the odometry method to map the robot's position in the field, based on rotary encoder readings and gyroscope sensor readings and applies the PID method to control the angle of the robot's facing direction. By applying this combination to the wheeled soccer robot, it can improve the robot's ability to determine position.*

Keywords: *odometry; PID control; positioning robot; wheeled soccer robot*

Abstrak: Pada Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI) robot diharapkan dapat bermain layaknya manusia. Salah satu bagian terpenting dari sistem kendali robot adalah penentuan posisi robot. metode *odometry* adalah metode yang paling umum digunakan untuk menentukan posisi robot menggunakan pembacaan dari *rotary encoder*. Namun penggunaan *rotary encoder* rawan mengalami slip sehingga akan menghasilkan *error* pada sistem umpan balik *odometry* yang semakin besar dengan seiring waktu. Salah satu akibat dari slip adalah perubahan arah hadap robot yang akan memengaruhi pergerakan robot selanjutnya. Sehingga diperlukan penggunaan sensor yang kesalahannya tidak terpengaruh oleh kesalahan sebelumnya. Sistem yang stabil juga diperlukan untuk meningkatkan kinerja aktuator dan efektifitas sumber daya robot. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dalam penelitian ini menerapkan metode *odometry* untuk memetakan posisi robot dilapangan, dengan berdasarkan pembacaan *rotary encoder* dan pembacaan sensor *gyroscope* serta menerapkan metode PID untuk mengontrol sudut arah hadap robot. Dengan diterapkannya kombinasi ini pada robot sepak bola beroda dapat meningkatkan kemampuan robot dalam menentukan posisi.

Kata kunci: *odometry, kontrol PID, penentuan posisi robot, robot sepak bola beroda*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan robot di Indonesia saat ini sangat pesat. sebagai penunjang perkembangan robot di Indonesia Menristekdikti mengadakan Kontes Robot Indonesia (KRI) dengan berbagai macam tema atau divisi. Salah satunya adalah Kontes Robot Sepakbola Beroda (KRSBI Beroda). Dalam kontes tersebut mahasiswa dituntut untuk mengembangkan beberapa kemampuan diantaranya adalah kemampuan pada bidang mekanika, elektronika, pemrograman, artificial

intelligent, image processing, komunikasi digital, strategi, dan kemampuan softskill lainnya (Buku Panduan KRSBI Beroda, 2018).

Pada divisi KRSBI Beroda robot ditanamkan kecerdasan yang dapat meniru sistem kerja manusia saat bermain sepak bola sungguhan, sehingga robot secara otomatis bermain sepak bola sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Salah satu bagian terpenting dari sistem kendali robot sepak bola beroda adalah pemosisian pada robot (Abseno, 2019)

Pemosisian robot adalah masalah utama dalam pembuatan robot otomatis. Jika robot tidak mengetahui keberadaannya, maka akan sulit untuk menentukan aksi robot selanjutnya (Nasir, 2020). Penelitian yang dilakukan oleh (Rifandi, 2020) menggunakan metode autodocking efektif dan efisien dalam proses menuju lokasi. Pemosisian pada robot meliputi dua aspek penting yaitu penentuan posisi robot dan pengatur kecepatan posisi robot. Untuk mengetahui posisinya, robot mengolah data dari sensornya. Pada robot beroda, penentuan robot yang paling umum digunakan adalah menggunakan *rotary encoder* untuk mendapatkan kecepatan putaran setiap roda. Nilai kecepatan dan arah diolah untuk mendapatkan posisi robot (Khumaidi et al., 2021).

Robot sepak bola beroda membutuhkan posisi dari dirinya agar rencana gerakannya menjadi lebih efisien, sehingga perlu untuk mengatasi kesalahan dalam penentuan posisi robot tersebut. Salah satu tindakan penanggulangan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan sensor yang kesalahannya tidak terpengaruh oleh kesalahan sebelumnya, misalnya menggunakan sensor *gyroscope* untuk menentukan arah hadap robot (Rachmawan, 2017).

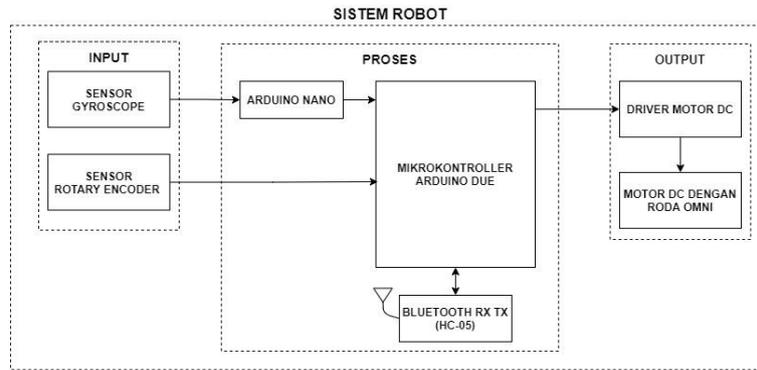
Untuk mengatasi beberapa permasalahan diatas maka perlu dirancang suatu sistem yang dapat menentukan posisi robot dan kontrol kecepatan robot. Perancangan penentuan posisi robot dilakukan dengan membaca data pergerakan robot dari sistem umpan balik *odometry* dan sensor *gyroscope* digunakan untuk mengoreksi arah hadap robot. Sedangkan perancangan kontrol sudut arah hadap robot dilakukan dengan menggunakan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) berdasarkan pembacaan sensor *gyroscope*. Dengan kombinasi ini diharapkan robot akan bergerak lebih akurat menuju target, dan nilai error yang dihasilkan oleh *odometry* itu sendiri dapat dikurangi.

II. METODE PENELITIAN

Adapun langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan mekanik, kendali pergerakan robot dan perancangan *base station*. metode *odometry* digunakan untuk membaca perubahan posisi robot (Basori et al., 2014) dan sudut arah hadap robot dengan menggunakan sistem umpan balik dari kombinasi tiga *rotary encoder* dan satu buah sensor *gyroscope*. sensor *gyroscope* memiliki fitur yang didalam aksi momentum setiap sudut serta orientasi terjaga agar tetap bertahan dan stabil (Firman, 2016).

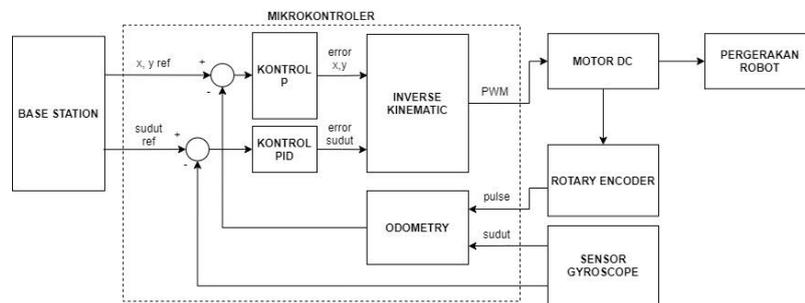
Dalam bagian ini juga dijelaskan bagaimana persamaan *inverse kinematic* digunakan untuk menentukan kecepatan masing-masing motor dan Kontrol PID untuk mengolah sinyal error yang berasal dari sistem. Selain itu, alur kerja robot akan dibahas melalui blok sistem robot.

Penelitian ini akan lebih banyak membahas tentang pemetaan lokasi dan arah hadap. Pemetaan lokasi digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai lokasi robot. Informasi tersebut dapat digunakan untuk berbagai hal seperti menentukan pergerakan robot, melakukan tendangan ke gawang, melakukan umpan kepada kawan dan lain sebagainya. Uraian proses penelitian ini diuraikan secara berurutan, singkat dan jelas.



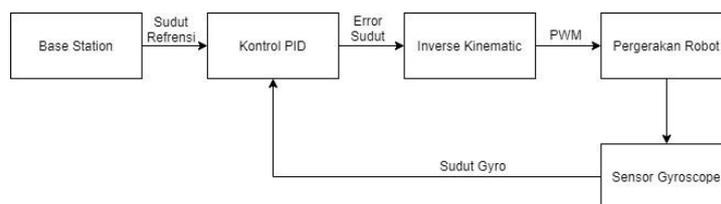
Gambar 1. Diagram blok sistem robot

Terdapat tiga bagian penting dalam sistem robot yaitu masukan, proses dan keluaran (Marisa et al., 2020). Sensor *rotary encoder* digunakan sebagai sensor untuk pembacaan jumlah putaran roda, sedangkan sensor *gyroscope* digunakan untuk pembacaan sudut arah hadap robot, proses pembacaan sensor *gyroscope* menggunakan metode *master-slave* bertujuan agar proses pembacaan sensor lebih cepat dan akurat dan Bluetooth Rx Tx (HC-05) digunakan sebagai media komunikasi antar robot dengan *base station*.



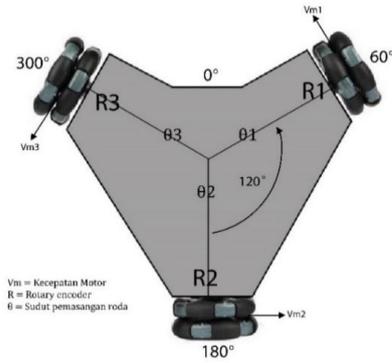
Gambar 2. Diagram blok sistem mikrokontroler

Mikrokontroler menerima data koordinat x , y dan sudut, data yang diterima digunakan sebagai *setpoint* posisi dan sudut yang harus dituju oleh robot. kontrol P dan kontrol PID digunakan untuk menghasilkan nilai error dari posisi target dan posisi robot saat ini. Selanjutnya nilai error tersebut digunakan sebagai masukan nilai kecepatan horizontal (v_x), kecepatan vertikal (v_y) dan kecepatan sudut (v_θ) pada sistem *inverse kinematic*. *Inverse kinematic* digunakan untuk mengatur pergerakan robot dengan membagi kecepatan masing-masing motor berdasarkan nilai masukan. Pada saat melakukan pergerakan sistem akan membaca posisi robot menggunakan metode *odometry* berdasarkan pembacaan sensor *rotary encoder* dan *gyroscope*.



Gambar 3. Diagram blok sistem kontrol PID

Kontrol PID pada penelitian ini digunakan untuk mengoreksi arah hadap robot, sistem akan menerima data sudut target dari *base station*. *Inverse kinematic* digunakan untuk mengatur pergerakan robot berdasarkan masukan yang dihasilkan oleh kontrol PID.



Gambar 4. Desain sistem penggerak

Nilai kecepatan horizontal V_x , kecepatan vertikal V_y dan kecepatan sudut V_θ robot dari sistem kontrol digunakan untuk menetapkan nilai kecepatan pada masing-masing motor. Berdasarkan penempatan motor seperti pada gambar 4 kontrol pergerakan robot *omnidirectional* beroda 3 didapatkan persamaan seperti berikut:

$$\begin{pmatrix} Vm1 \\ Vm2 \\ Vm3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -V_x \sin \theta_1 + V_y \cos \theta_1 + V_\theta \\ -V_x \sin \theta_2 + V_y \cos \theta_2 + V_\theta \\ -V_x \sin \theta_3 + V_y \cos \theta_3 + V_\theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

Dimana:

V_m = Kecepatan Motor

θ = Sudut pemasangan roda pada robot

Pada saat robot melakukan pergerakan, data yang dibaca diubah untuk memperkirakan posisi relatif robot. Pergerakan robot bergantung pada pembacaan arah hadap robot dari sensor *gyroscope* dan pulsa dari *rotary encoder*. Setelah mendapatkan data jumlah pulsa dan arah hadap robot, selanjutnya adalah menghitung nilai x dan y. Karena robot dilengkapi dengan 3 *rotary encoder* yang masing-masing dipasang pada 120° . Maka berlaku persamaan sebagai berikut:

$$V_x = S_1 * \cos(\theta_1) + S_2 * \cos(\theta_2) + S_3 * \cos(\theta_3) \quad (2)$$

$$V_y = S_1 * \sin(\theta_1) + S_2 * \sin(\theta_2) + S_3 * \sin(\theta_3) \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} y \\ x \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ V_x \\ V_\theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dimana:

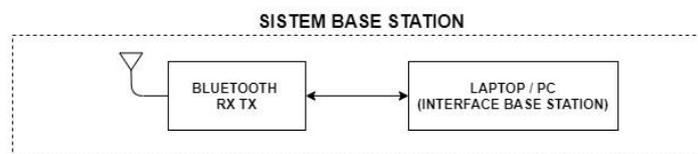
S = jarak tempuh masing-masing roda

θ_{123} = sudut pemasangan roda

y = posisi x robot dalam koordinat kartesian

x = posisi y robot dalam koordinat kartesian

θ = arah hadap robot (*gyroscope*)



Gambar 5. Diagram blok sistem *base station*

Base Station berfungsi sebagai pengontrol dan pemantau posisi robot. *base station* berkomunikasi dengan robot melalui media *bluetooth*. Data yang diterima *base station* merupakan data koordinat dan sudut arah hadap robot, selanjutnya data akan diproses untuk di visualisasikan ke dalam *interface base station*. Data hasil pengolahan *base station* digunakan sebagai pemantauan pergerakan robot di lapangan. Pergerakan robot ini akan menunjukkan posisi dan arahnya secara *real time*.



Gambar 6. User Interface base station

III. HASIL

Pengujian sensor *rotary encoder* dilakukan untuk mengetahui nilai pulsa yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder*. Pengujian ini dilakukan dengan memutar *rotary encoder* searah jarum jam sebanyak 1 putaran penuh, 2 putaran penuh dan 3 putaran penuh, masing-masing putaran dilakukan percobaan sebanyak lima kali.

Tabel 1. Hasil pengujian rotary encoder 1 putaran

Percobaan	1 Putaran Penuh		
	Pulsa Rotary 1	Pulsa Rotary 2	Pulsa Rotary 3
1	271	270	268
2	268	271	268
3	269	271	268
4	269	268	271
5	268	269	268
Rata-rata	269	269.8	268.6

Tabel 2. Hasil pengujian rotary encoder 2 putaran

Percobaan	2 Putaran Penuh		
	Pulsa Rotary 1	Pulsa Rotary 2	Pulsa Rotary 3
1	538	535	538
2	537	537	535
3	535	535	539
4	539	540	540
5	539	540	535
Rata-rata	537.6	537.4	537.4

Tabel 3. Hasil pengujian rotary encoder 3 putaran

Percobaan	3 Putaran Penuh		
	Pulsa Rotary 1	Pulsa Rotary 2	Pulsa Rotary 3
1	807	808	806
2	806	809	805
3	810	808	807

4	805	810	808
5	806	807	810
Rata-rata	806.8	808.4	807.2

Pengujian sensor *gyroscope* dilakukan untuk mengetahui arah hadap dari sistem. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati nilai keluaran sensor *gyroscope* ketika sensor diputar pada sudut tertentu, sehingga dapat dilihat perubahan nilai keluaran sensor *gyroscope* dan sudut sebenarnya.

Tabel 4. Hasil pengujian sensor *gyroscope* sudut 30°

Percobaan	Sudut Target (°)	Sudut Terbaca (°)
1	30	30.33
2	30	31.90
3	30	32.48
4	30	29.26
5	30	30.93
Rata-rata (°)		30.98

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{sudut target} - \text{sudut terbaca}}{\text{sudut target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{30 - 30.98}{30} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 3,2 \%$$

Tabel 5. Hasil pengujian sensor *gyroscope* sudut 45°

Percobaan	Sudut Target (°)	Sudut Terbaca (°)
1	45	45.26
2	45	45.27
3	45	46.12
4	45	47.66
5	45	45.72
Rata-rata (°)		46.01

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{sudut target} - \text{sudut terbaca}}{\text{sudut target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{45 - 46.01}{45} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 2,4 \%$$

Tabel 6. Hasil pengujian sensor *gyroscope* sudut 60°

Percobaan	Sudut Target (°)	Sudut Terbaca (°)
1	60	59.56
2	60	62.12
3	60	60.91
4	60	59.20
5	60	60.84
Rata-rata (°)		60.53

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{sudut target} - \text{sudut terbaca}}{\text{sudut target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{60 - 60.53}{60} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 0,8 \%$$

Tabel 7. Hasil pengujian sensor *gyroscope* sudut 90°

Percobaan	Sudut Target (°)	Sudut Terbaca (°)
1	90	89.53
2	90	90.83

3	90	91.76
4	90	89.84
5	90	91.19
Rata-rata (°)		90.63

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{sudut target} - \text{sudut terbaca}}{\text{sudut target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{90 - 90.63}{90} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 0.7 \%$$

Setelah melakukan pengujian sensor *gyroscope* pada tahap sebelumnya, selanjutnya dilakukan analisa secara keseluruhan untuk mendapatkan nilai *error* akhir dari pengujian sensor *gyroscope*. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian sensor *gyroscope* keseluruhan

Sudut Target (°)	Nilai Rata-rata (°)	Nilai Error (%)
30	30.98	3.2
45	46.01	2.2
60	60.53	0.8
90	90.63	0.7
Rata-rata error (%)		1.7

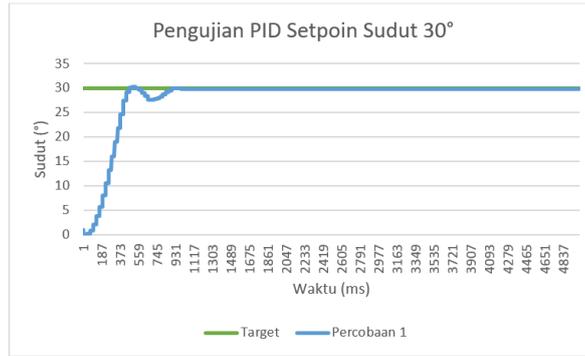
Pengujian kontrol pergerakan robot dilakukan untuk mengetahui nilai kecepatan putar masing-masing motor untuk menggerakkan robot. pengujian ini dilakukan menggunakan metode *inverse kinematic* nilai keluaran dari *inverse kinematic* berupa nilai pwm yang digunakan untuk menggerakkan motor (Prayogo & Triwiyatno, 2018). Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengujian *inverse kinematic*

No	Vx	Vy	Vθ	Vmotor1 (PWM)	Vmotor 2 (PWM)	Vmotor 3 (PWM)
1	150	0	0	74 (CW)	150 (CCW)	75 (CW)
2	0	150	0	129 (CW)	0	129 (CCW)
3	150	150	0	204	150 (CCW)	54 (CCW)
4	0	0	150	150	150	150
5	-150	0	0	74 (CCW)	150 (CW)	75 (CCW)
6	0	-150	0	129 (CCW)	0	129 (CW)
7	-150	-150	0	204 (CCW)	150 (CW)	54 (CW)
8	0	0	-150	150 (CCW)	150 (CCW)	150 (CCW)

Penggunaan kontrol PID pada tugas akhir ini berguna untuk mengoreksi sudut arah hadap robot berdasarkan pembacaan sensor *gyroscope*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kestabilan respon pada sistem kontrol robot dan waktu yang diperoleh setelah sudut arah hadap robot sesuai dengan target. Untuk mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd terbaik pada tugas akhir ini peneliti menggunakan metode *trial and error*.

Setelah mendapatkan komposisi nilai Kp, Ki dan Kd terbaik dengan nilai error terkecil dan waktu eksekusi tercepat, maka pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian kontrol PID berdasarkan nilai Kp, Ki, dan Kd yang didapatkan.



Gambar 7. Hasil pengujian PID *setpoint* 30°

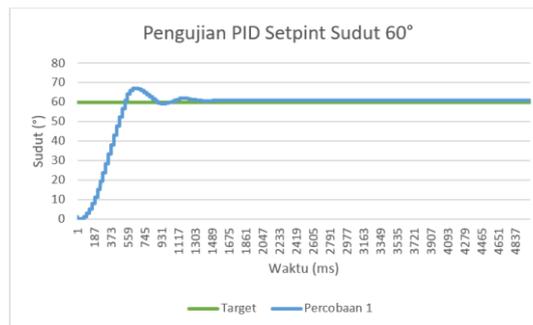
Tabel 10. Hasil pengujian PID *setpoint* 30°

Percobaan	Sudut Target	Sudut Terbaca
1	30	29.83
2	30	30.32
3	30	30.08
4	30	30.49
5	30	30.34
Rata-rata (°)		30.21

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{sudut target} - \text{sudut terbaca}}{\text{sudut target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{30 - 30.21}{30} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 0.7 \%$$



Gambar 8. Hasil pengujian PID *setpoint* 60°

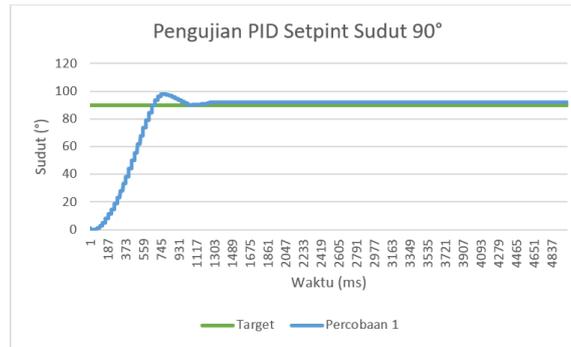
Tabel 11. Hasil pengujian PID *setpoint* 60°

Percobaan	Sudut Target	Sudut Terbaca
1	60	60.77
2	60	60.5
3	60	61.1
4	60	61.26
5	60	61.5
Rata-rata (°)		61.1

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{sudut target} - \text{sudut terbaca}}{\text{sudut target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{60 - 61.1}{60} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 1.8 \%$$

Gambar 9. Hasil pengujian PID *setpoint* 90°Tabel 12. Hasil pengujian PID *setpoint* 90°

Percobaan	Sudut Target	Sudut Terbaca
1	90	91.81
2	90	92.28
3	90	91.9
4	90	91.93
5	90	91.71
Rata-rata (°)		91.93

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{sudut target} - \text{sudut terbaca}}{\text{sudut target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{90 - 91.93}{90} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 2.1 \%$$

Setelah melakukan berbagai pengujian nilai PID pada tahap sebelumnya, selanjutnya dilakukan analisa secara keseluruhan untuk mendapatkan nilai *error* akhir dari pengujian nilai PID. Hasil pengujian PID keseluruhan dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Hasil pengujian PID keseluruhan

Sudut Target (°)	Nilai Rata-rata (°)	Nilai Error (%)
30	30.21	0.7
60	61.1	1.8
90	91.93	2.1
Rata-rata error (%)		1.5

IV. PEMBAHASAN

Pengujian *odometry* dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dirancang dapat membaca perpindahan robot bekerja dengan baik atau tidak. Sistem ini dirancang berdasarkan jumlah pulsa yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder* yang telah terpasang. Sehingga pengujian ini dapat diketahui nilai *error* antara perpindahan yang telah dicapai robot secara aktual dengan nilai perpindahan robot yang dibaca oleh sensor.

Dalam pengujian ini dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama robot bergerak menuju titik target dengan menggunakan sistem kontrol PID dan sensor *gyroscope* dan tahap kedua robot bergerak menuju titik target tanpa menggunakan sistem kontrol PID dan sensor *gyroscope*. Berikut adalah hasil pengujian perubahan posisi robot pada sumbu y dan sumbu x dengan menggunakan kontrol PID dan *gyroscope*.

Tabel 14. Hasil pengujian pada sumbu y sejauh 200cm

Percobaan	Posisi Target			Posisi Terukur		
	X (cm)	Y (cm)	θ (°)	X (cm)	Y (cm)	θ (°)
1	0	200	0	0	202	0
2	0	200	0	0	202	0
3	0	200	0	0	200	0
4	0	200	0	0	202	0
5	0	200	0	0	201	0
6	0	200	0	0	199	0
7	0	200	0	-6	197	1
8	0	200	0	2	198	0
9	0	200	0	-6	197	1
10	0	200	0	-1	199	2
Rata-rata		66.7			66.3	

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{nilai rerata target} - \text{nilai rerata terukur}}{\text{nilai rerata target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{66.7 - 66.3}{66.7} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 0.6 \%$$

Tabel 15. Hasil pengujian pada sumbu x sejauh 200cm

Percobaan	Posisi Target			Posisi Terukur		
	X (cm)	Y (cm)	θ (°)	X (cm)	Y (cm)	θ (°)
1	200	0	0	200	0	0
2	200	0	0	198	-1	0
3	200	0	0	198	0	0
4	200	0	0	198	0	0
5	200	0	0	202	-1	0
6	200	0	0	198	-1	0
7	200	0	0	200	0	0
8	200	0	0	202	0	0
9	200	0	0	196	3	-2
10	200	0	0	197	1	-2
Rata-rata	200	0	0	198.9	0.1	-0.4

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{nilai rerata target} - \text{nilai rerata terukur}}{\text{nilai rerata target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{66.7 - 66.2}{66.7} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 0.7 \%$$

Tabel 16. Hasil pengujian pada sumbu x dan sumbu y sejauh 200cm

Percobaan	Posisi Target			Posisi Terukur		
	X (cm)	Y (cm)	θ (°)	X (cm)	Y (cm)	θ (°)
1	200	200	0	197	201	1
2	200	200	0	199	208	1
3	200	200	0	202	200	0
4	200	200	0	205	202	0
5	200	200	0	205	203	1
Percobaan	Posisi Target			Posisi Terukur		
	X (cm)	Y (cm)	θ (°)	X (cm)	Y (cm)	θ (°)
6	200	200	0	205	202	0
7	200	200	0	198	202	2
8	200	200	0	206	199	1
9	200	200	0	204	199	1

10	200	200	0	194	199	0
Rata-rata	200	200	0	201.5	201.5	0.7
		133.3			134.6	

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{nilai rerata target} - \text{nilai rerata terukur}}{\text{nilai rerata target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{133.3 - 134.6}{133.3} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 0.9 \%$$

Berikut adalah hasil pengujian perubahan posisi robot pada sumbu y dan sumbu x tanpa menggunakan kontrol PID dan *gyroscope*.

Tabel 17. Hasil pengujian pada sumbu y sejauh 200cm

Percobaan	Posisi Target			Posisi Terukur		
	X (cm)	Y (cm)	θ (°)	X (cm)	Y (cm)	θ (°)
1	0	200	0	0	207	-1
2	0	200	0	-8	204	-2
3	0	200	0	-2	205	-1
4	0	200	0	6	205	-4
5	0	200	0	0	206	0
6	0	200	0	2	204	0
7	0	200	0	-4	205	0
8	0	200	0	2	205	-6
9	0	200	0	-6	205	1
10	0	200	0	-6	204	1
rata-rata	0	200	0	-1.6	205	-1.2
		66.7			67.4	

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{nilai rerata target} - \text{nilai rerata terukur}}{\text{nilai rerata target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{66.7 - 67.4}{66.7} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 1\%$$

Tabel 18. Hasil pengujian pada sumbu x sejauh 200cm

Percobaan	Posisi Target			Posisi Robot		
	X (cm)	Y (cm)	θ (°)	X (cm)	Y (cm)	θ (°)
1	200	0	0	212	-12	52
2	200	0	0	228	-14	53
3	200	0	0	206	-10	52
4	200	0	0	204	-12	51
5	200	0	0	204	-14	50
6	200	0	0	218	-13	52
7	200	0	0	194	-11	50
8	200	0	0	198	-10	51
9	200	0	0	190	-13	52
10	200	0	0	204	-10	52
rata-rata	200	0	0	205.8	-11.9	51.5
		66.7			81.8	

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{nilai rerata target} - \text{nilai rerata terukur}}{\text{nilai rerata target}} \right| \times 100\%$$

$$\% \text{ error} = \left| \frac{66.7 - 81.8}{66.7} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 22.6 \%$$

Tabel 19. Hasil pengujian pada sumbu x dan sumbu y sejauh 100cm

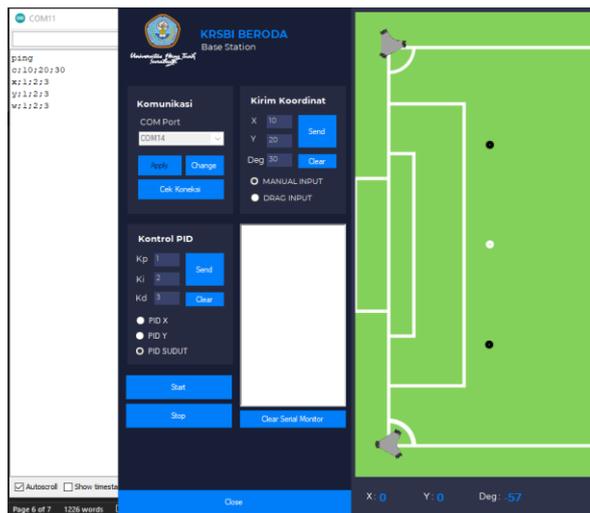
Percobaan	Posisi Target			Posisi Robot		
	X (cm)	Y (cm)	θ (°)	X (cm)	Y (cm)	θ (°)
1	100	100	0	88	105	0
2	100	100	0	90	105	-3
3	100	100	0	96	105	-2
4	100	100	0	98	104	-2
5	100	100	0	96	104	-3
6	100	100	0	96	105	-6
7	100	100	0	94	106	-33
8	100	100	0	96	105	-2
9	100	100	0	90	105	-4
10	100	100	0	94	116	14
rata-rata	100	100	0	93.8	106	-4.1
		66.7			65.2	

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{nilai rerata target} - \text{nilai rerata terukur}}{\text{nilai rerata target}} \right| \times 100\%$$

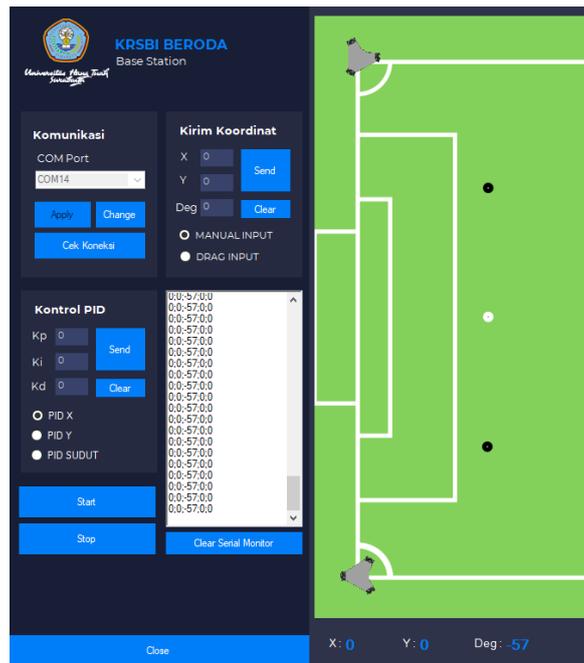
$$\% \text{ error} = \left| \frac{66.7 - 65.2}{66.7} \right| \times 100\%$$

$$\text{Error \%} = 2.2 \%$$

Pengujian *base station* dilakukan untuk mengetahui apakah sistem *base station* dapat mengirim data ke robot dan dapat menerima data dari robot. Pada tahap ini juga dilakukan pengujian terhadap visualisasi robot yang terdapat pada aplikasi *base station*. Sehingga pengujian ini dapat diketahui perpindahan yang telah dicapai robot secara *real time*. *Base station* menggunakan media *bluetooth* sebagai media komunikasinya.



Gambar 10. Hasil pengiriman data dari *base station* ke robot



Gambar 11. Hasil penerimaan data dari robot

V. KESIMPULAN

Pada pengujian kontrol PID untuk mengontrol arah hadap robot, penggunaan metode *trial and error* dalam menentukan nilai Kp, Ki dan Kd didapatkan hasil respon sistem dengan waktu eksekusi yang cepat dan nilai *error* yang kecil. Pada pengujian perubahan posisi robot sejauh 200cm pada sumbu y, dengan menggunakan sistem kontrol PID dan sensor *gyroscope* didapatkan hasil *error* sebesar 0.6% sedangkan pengujian tanpa menggunakan sistem kontrol PID dan *gyroscope* didapatkan hasil *error* sebesar 1%. Pada pengujian perubahan posisi robot sejauh 200cm pada sumbu x, dengan menggunakan sistem kontrol PID dan sensor *gyroscope*, didapatkan hasil *error* sebesar 0.7%, sedangkan pengujian tanpa menggunakan sistem kontrol PID dan *gyroscope* didapatkan hasil *error* sebesar 22.6%.

Pada pengujian perubahan posisi robot sejauh 200cm pada sumbu x dan 200cm pada sumbu y, dengan menggunakan sistem kontrol PID dan sensor *gyroscope* didapatkan hasil *error* sebesar 0.9%, sedangkan pengujian perubahan posisi robot sejauh 100cm pada sumbu x dan 100cm pada sumbu y, tanpa menggunakan sistem kontrol PID dan *gyroscope* didapatkan hasil *error* sebesar 2.2%. Pada pengujian perubahan posisi robot sejauh 200cm pada sumbu x dan 200cm pada sumbu y, dengan menggunakan sistem kontrol PID dan sensor *gyroscope* didapatkan hasil *error* sebesar 0.9%, sedangkan pengujian perubahan posisi robot sejauh 100cm pada sumbu x dan 100cm pada sumbu y, tanpa menggunakan sistem kontrol PID dan *gyroscope* didapatkan hasil *error* sebesar 2.2%.

Dengan pembacaan sistem odometry yang lebih baik berdampak pada pemosisian robot yang lebih akurat. Hal ini terlihat dari perbandingan nilai *error* metode odometry menggunakan kontrol PID dan sensor *gyroscope* dengan metode odometry tanpa menggunakan kontrol PID dan sensor *gyroscope*. Berdasarkan hasil tersebut metode odometry dengan menggabungkan sistem kontrol PID dan sensor *gyroscope* dapat memperbaiki *error* robot dan meningkatkan performa dalam melakukan pemosisian.

REFERENSI

- Abseno, A. P. (2019). *Penerapan Kinematika Untuk Lokalisasi Pada Robot Sepak Bola Beroda*. 73.
- Basori, S., Sulistiyanto, N., & Rif'an, M. (2014). Implementasi Odometry Pada Robot Otomatis Kontes Robot Abu Indonesia. *Slamet Basori.1, Nanang Sulistiyanto, Ir., MT.2, Mochammad Rif'an, ST., MT.2*, 5.
- Firman, B. (2016). Implementasi Sensor IMU MPU6050 Berbasis Serial I2C Pada Self-Balancing Robot Vol . 9 No . 1 Agustus 2016 ISSN : 1979-8415. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 9(1), 18–24.
- Kemahasiswaan Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan Kementerian Riset, D., & dan Pendidikan Tinggi, T. (2018). *Buku Panduan Kontes Robot Sepakbola Indonesia Beroda (KRSBI Beroda) 2019*.
- Khumaidi, A., Nasikhin, K., Priyonggo, P., Santoso, M., Bagus, D., Sahputra, A. W., Kapal, T. K., Otomasi, P. T., Kapal, T. P., Perkapalan, P., & Surabaya, N. (2021). *Pemetaan Posisi Robot Soccer Menggunakan Gyrodometry*. 19(3).
- Marisa, S., Wahyuni, T., & Kunci, K. (2020). *Rancang Bangun Prototipe Sistem Saluran Air Berbasis Sistem Tutup Buka Otomatis Menggunakan Sistem Mikroprosesor dan Sensor Ultrasonic*. 26–27.
- Nasir, M. (2020). *Penerapan Gyrodometry pada Three Omni Wheels untuk Robot Sepak Bola Beroda*.
- Prayogo, R. C., & Triwiyatno, A. (2018). Perancangan Robot Berkaki 4 (Quadruped) Dengan Stabilization Algorithm Pada Uneven Floor Menggunakan 6-Dof Imu Berbasis Invers Kinematic. *Transient*, 7(2), 543–551.
- Rachmawan, A. (2017). Penentuan Posisi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Rotary Encoder dan Kamera. *Undergraduate Thesis, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Rifandi, S. (2020). Navigasi Mobile Robot Untuk Mencapai Docking Station Dalam Proses Autodocking. *Jurnal Elektronika, Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Informatika, Sistem Kontrol (J-Eltrik)*, 2(1). <https://doi.org/10.30649/j-eltrik.v2i1.54>