

RANCANG BANGUN SISTEM *POSITIONING MOBILE ROBOT OMNIDIRECTIONAL WHEEL* MENGGUNAKAN STM32 BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER*

Hisyam Muhammad Fuad AL Azka

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : hisyam.17050874047@mhs.unesa.ac.id

Muhamad Syariffuddin Zuhrie, I Gusti Putu Asto Buditjahjanto, Lilik Anifah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : zuhrie@unesa.ac.id, asto@unesa.ac.id, lilikanifah@unesa.ac.id

Abstrak

Di penelitian ini memaparkan perancangan sistem kendali fuzzy untuk *mobile robot omnidirectional wheel*. Menjelaskan tentang struktur kontrol, kinematika dan dinamika dari *robot omnidirectional wheel*. Metode yang digunakan sebagai pengendali dari *positioning* robot ini sendiri yaitu sistem metode logika fuzzy sebagai sistem kontrol gerak roda *mobile robot omnidirectional wheel*. Controller yang disajikan dalam penelitian ini memberi solusi yang optimal untuk diimplementasikan di kehidupan nyata yaitu dengan menggunakan mikrokontroler berupa STM32 yang berfungsi sebagai otak atau pengendali dari sistem *positioning robot* dengan 4 roda *omni* menggunakan STM32 berbasis *fuzzy logic controller*. Pergerakan *robot omnidirectional wheel* merupakan kunci utama penentuan tata letak robot sesuai dengan *set point* yang ditentukan. Namun tanpa menggunakan sensor tambahan, metode ini akan mudah tergelincir yang disebabkan oleh roda *omni* yang masih bergerak sementara motor penggerak telah berhenti. Untuk mengatasi tergelincir roda yang terjadi pada robot maka digunakanlah sensor *rotary encoder* yang berfungsi sebagai penentu jarak yang telah dicapai oleh robot dari titik awal menuju titik akhir dengan dilengkapi sensor kompas digital untuk memtukan arah hadap robot tidak berubah dan sesuai dengan posisi yang telah ditentukan. Hasil yang didapatkan pada penelitian *positioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan menggunakan *rotary encoder* memiliki *error RMS* pada sumbu x sebesar 2,625 cm, dan pada sumbu y sebesar 3,425 cm, dan arah hadap robot menggunakan *gyroscope* memiliki *error RMS* sebesar 1,1 derajat.

Kata Kunci: *gyroscope, omnidirectional, robot, rotary encoder, STM32.*

Abstract

This research describes the design of a fuzzy control system for the omnidirectional wheel mobile robot. Describes the control structure, kinematics and dynamics of the omnidirectional wheel robot. The method used as a controller for the positioning of the robot itself is the fuzzy logic method system as a wheel motion control system for the omnidirectional wheel mobile robot. The controller presented in this study provides an optimal solution to be implemented in real life, namely by using a microcontroller in the form of STM32 which functions as the brain or controller of the positional robot system with 4 omni wheels using STM32 based on fuzzy controller. The movement of the omnidirectional wheeled robot is the main key in determining the layout of the robot according to the set point. However, without using additional sensors, this method will easily tergelincir due to the omni wheel that is still moving while the motor has stopped. To overcome the wheel tergelincir that occurs in the robot, a rotary encoder sensor is used which functions as a determinant of the distance that the robot has reached from the starting point to the end point equipped with a digital compass sensor to determine the direction towards the robot does not change and is in accordance with the predetermined position. The results obtained in the research of positioning mobile robot omnidirectional wheel using a rotary encoder have an RMS error on the x-axis of 2,625 cm, and on the y-axis of 3,425 cm, and the direction towards the robot using a gyroscope has an RMS error of 1,1 degrees.

Keywords: *gyroscope, omnidirectional, robot, rotary encoder, STM32.*

PENDAHULUAN

Baru-baru ini, banyak perkembangan penting telah diusulkan untuk mengendalikan sistem robotik. *Mobile robot* adalah salah satu robot yang dapat bergerak atau

tidak menetap dalam satu posisi. Ciri yang membedakan dari struktur robot yang dimiliki oleh *mobile robot* adalah memiliki penggerak berbentuk roda untuk menggerakkan seluruh tubuh robot, sehingga robot dapat merubah posisinya (Tzafestas, 2013). Kebanyakan robot beroda

bergerak menggunakan roda biasa, tetapi arah pergerakannya sangat terbatas. Gerakan terarah yang terbatas tersebut dapat menjadi penghambat fungsi robot untuk bergerak ke segala arah. Berangkat dari keterbatasan tersebut maka digunakan *robot omnidirectional* yang dapat bergerak lebih leluasa dan efektif, agar tidak menabrak rintangan atau tembok sekitarnya (Rahman and hugo, 2017). *Mobile robot omnidirectional* adalah sistem nonlinier *multi-input multi-output* yang khas. Dibandingkan dengan robot beroda biasa, *mobile robot omnidirectional* memiliki derajat kebebasan yang lebih tinggi dan sulit dikendalikan (Qian and Chao, 2019).

Modul kendali gerak robot sepak bola merupakan salah satu modul dasar yang mengontrol dinamika robot dan menggerakkan robot ke tempat tujuan. Dalam kondisi faktor yang tidak pasti seperti gesekan dan gangguan yang tidak diketahui, perolehan sistem kontrol presisi tinggi telah menjadi masalah penting (Rahib, Nurullah, and Irfan, 2017). Berdasarkan sejumlah penelitian tentang sistem kendali modern diperoleh kendali cerdas yaitu sistem kendali *fuzzy logic controller* yang dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan PID, karena lebih tradisional *proportional integral derivative* (PID) (Watanabe, 1998).

Fuzzy logic controller (FLC) merupakan sistem kendali yang dapat digunakan untuk mengontrol gerak *mobile robot* dan secara otomatis mengurangi kesalahan gerakannya, oleh karena itu penggunaan FLC dapat berperan dalam sistem nonlinier dan bekerja dengan baik (Al-dahlan, Mohammed, and M.Ali, 2016). Gerak roda *Omni* dapat digerakkan secara bebas dari fungsi ini, sehingga penulis menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC) sebagai sistem kendali roda untuk roda *omnidirectional* sebuah *mobile robot* (hidayat, 2015). Berdasarkan sejumlah penelitian yang telah diselesaikan, penulis menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC).

Dari penelitian yang ada, banyak sekali pembahasan tentang sistem pengaman pintu. Robot sepak bola adalah bidang robotika yang menggabungkan kecerdasan buatan dalam robot dengan permainan sepak bola. Singkatnya, bidang ini mempelajari bagaimana membuat dan melatih robot untuk bermain sepak bola. Bagian utama dari bidang ini adalah persepsi mesin, perencanaan jalur, kinematika dan kontrol (Rachman, 2017).

Positioning robot merupakan salah satu kendala utama dalam pembuatan robot otomatis. Jika robot tidak mengetahui keberadaannya, maka akan sulit untuk menentukan aksi robot selanjutnya. Salah satu cara untuk menentukan posisi robot adalah dengan menggunakan *rotary encoder* untuk mengetahui jarak robot yang dilengkapi sensor kompas digital dari posisi awalnya. (Rachmawan, 2017)

Penelitian ini juga diharapkan menjadi solusi untuk mendapatkan pergerakan *mobile robot omnidirectional wheel* yang halus dan akurat sesuai dengan keinginan pengendali dengan menggunakan metode kendali *fuzzy logic controller* dan *microcontroller* berupa STM32 yang mampu mengatasi program yang ada untuk menjalankan sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel*. Penelitian ini pun bisa saja belum sempurna dan bisa dikembangkan atau di kolaborasikan dengan hasil penelitian lainnya.

Rumusan masalah pada penelitian ini, (1) bagaimana merancang dan membuat sebuah sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32 agar tetap berada dalam posisi yang diinginkan dengan menggunakan *fuzzy logic controller*. (2) bagaimana hasil respon pengujian sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32 berbasis *fuzzy logic controller*.

Tujuan dari penelitian ini adalah, (1) menciptakan sebuah sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32 agar tetap berada dalam posisi yang diinginkan dengan menggunakan *fuzzy logic controller*. (2) Mengetahui hasil pengujian sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32 berbasis *fuzzy logic controller*.

Manfaat dari penelitian ini adalah (1) menambah pengetahuan tentang sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32 berbasis *fuzzy logic controller*. (2) mengetahui langsung pengaruh implementasi sistem kendali *fuzzy logic controller* terhadap *positioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32. (3) Membantu pengembangan di bidang teknologi robotika, khususnya pada pengembangan *mobile robot omnidirectional wheel*.

Batasan dalam penelitian ini antara lain adalah, (1) menggunakan empat motor PG45 dengan roda *omnidirectional* yang ditempatkan pada setiap sudut dasar robot. (2) instrumen pengaturan berupa sistem minimum berbasis STM32. (3) metode kendali yang digunakan adalah *fuzzy logic controller*. (4) menggunakan *rotary encoder* tambahan sebagai *feedback control*. (5) roda yang digunakan hanya berukuran diameter 10cm. (6) tegangan pada penelitian ini menggunakan baterai 24 V. (7) batas pergerakan robot sejauh 3m dengan arah maju, kanan, kiri, mundur.

Sistem Pengaturan

Sistem pengaturan merupakan upaya atau perlakuan terhadap suatu sistem dengan masukan tertentu guna memperoleh keluaran yang diinginkan. Sistem penyesuaian mencakup keterkaitan antar komponen yang membentuk konfigurasi sistem yang memberikan hasil yang diinginkan dalam bentuk berbagai respons. Istilah lain untuk sistem regulasi adalah teknologi regulasi, sistem kendali atau sistem kendali, teknologi kendali dan sistem kendali. Dalam penerapannya, sistem kendali mengatur keluaran berdasarkan masukan yang telah ditentukan melalui elemen-elemen sistem kendali. Diagram keseluruhan dari sistem pengawasan ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. Diagram Umum Sistem Pengaturan
(Sumber : Ogata, 1995)

Rotary Encoder

Rotary encoder adalah perangkat sensor yang digunakan untuk mendeteksi posisi dan gerakan. *Rotary encoder* terdiri dari sensor optik berupa LED atau IR LED sebagai *transmitter* dan *phototransistor* sebagai *receiver*. Di antara *transmitter* dan *receiver* terdapat piringan berlubang dengan pola tertentu, yang berputar dengan porosnya. Oleh karena itu, pada saat roda berputar, sensor akan menghasilkan sinyal pulsa akibat pancaran LED yang dinyalakan dan dimatikan oleh lubang cakram, sehingga *phototransistor* akan menyala dan mati secara bergantian. Bentuk umum dari *rotary encoder* ditunjukkan pada Gambar 2.11. Untuk mengetahui kecepatan robot digunakan perhitungan frekuensi sebagai berikut:

$$V = \frac{S_1 - S_0}{|T_1 - T_0|} \quad (1)$$

Dimana :

V = Kecepatan (m/s)

S₁ = Jarak tempuh sekarang (m)

S₀ = Jarak tempuh sebelumnya (m)

T₁ = Waktu sekarang (s)

T₀ = Waktu sebelumnya (s)

Rotary encoder merupakan komponen elektromekanis yang memiliki fungsi untuk memantau posisi alat tangkap pada poros yang berputar. Dimulai dari perputaran objek, data yang dipantau akan diubah menjadi data digital berupa lebar pulsa oleh *rotary encoder*, kemudian dihubungkan ke pengontrol (mikrokontroler / PLC). Kemudian berdasarkan data yang diperoleh, pengontrol dapat mengolah posisi sudut (*angle*) untuk mendapatkan data berupa kecepatan, arah dan posisi rotasi sumbu (Autonic, 2015).

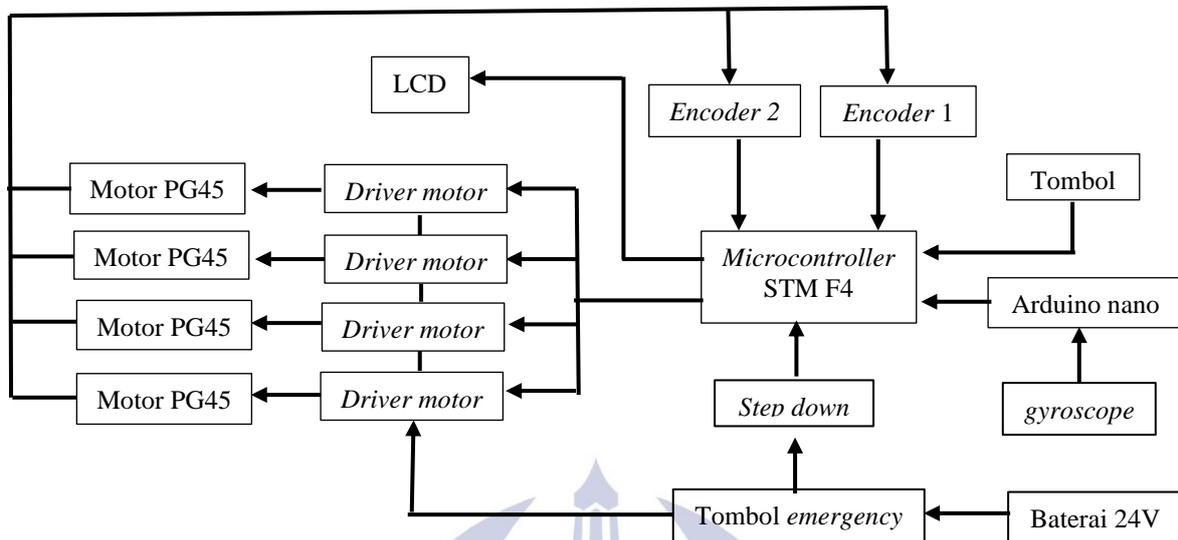
Penerapan *rotary encoder* sering kali muncul pada robot dengan kebutuhan posisi yang tinggi, seperti robot *Mechanum* dan robot *Omni*. Selain robot tipe *differential drive* (misalnya: Robot Tank), disarankan juga menggunakan *encoder* putar untuk menyesuaikan kiri dan roda kanan. Kecepatan motor bisa sama (Autonic, 2015).



Gambar 2. *Rotary Encoder*
(Sumber : Autonic, 2015)

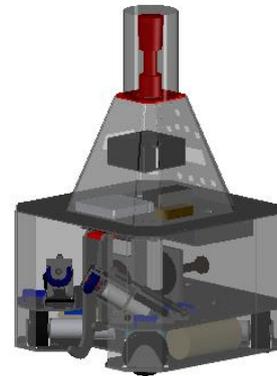
METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu penelitian sistematis untuk menambah pengetahuan dan membutuhkan jawaban berdasarkan data berupa gambar dan rencana (Sugiyono, 2003). Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang menggunakan banyak data dalam proses pelaksanaan penelitian, mulai dari pengumpulan data, interpretasi hingga hasil atau kesimpulan. Dalam pidatonya, penelitian kuantitatif terutama menampilkan dan mengartikan angka dengan gambar, tabel, grafik atau bentuk tampilan lainnya (Machali 2016). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan dan mengembangkan model matematis, teori atau hipotesis yang dapat diimplementasikan dalam alat, dengan harapan dapat membuka wawasan baru untuk pembuatan sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel*.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Blok sistem kendali dari perangkat *hardware possisioning mobile robot omnidirectional wheel*. Nilai masukan(*set point*) dari sistem ini adalah koordinat jarak. *Fuzzy Logic Controller* akan diproses di STM32 yang akan membantu mengarahkan robot menuju koordinat yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil dari keluaran kontroler berupa tegangan yang akan masuk ke *driver motor* yang dikonversikan ke nilai PWM dan 4 buah motor akan mengatur arah gerak robot. *Gyroscope* akan bekerja sebagai penentu arah hadap robot. Sensor *encoder* yang ada pada robot akan bekerja untuk mengukur nilai dari jarak perpindahan robot dari titik awal yang kemudian menjadi nilai pembacaan jarak sebagai nilai umpan balik.

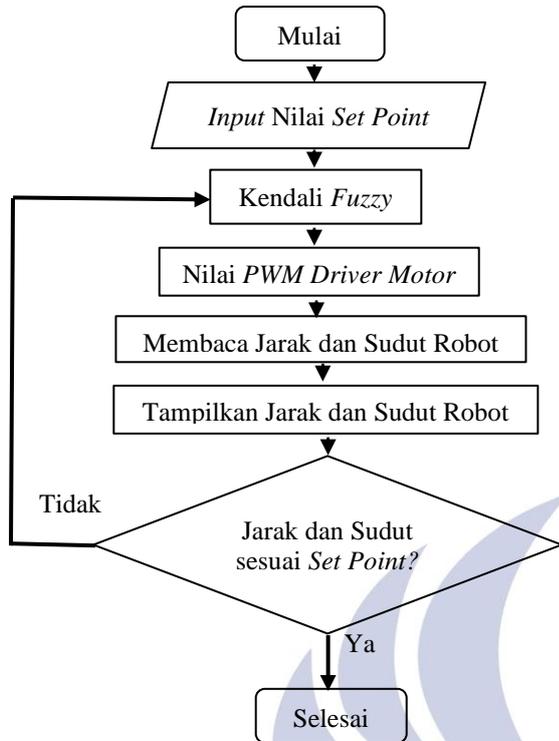


Gambar 4. Perancangan Mekanik Sistem

Rancang Bangun Sistem

Robot yang digunakan adalah robot *holonomic* atau *omnidirectional* yang bisa bergerak di segala arah tanpa merubah arah hadap robot. Desain mekanik robot yang digunakan mempunyai konfigurasi 4 motor penggerak DC dengan membentuk sudut 45 derajat dengan sumbu X maupun sumbu Y. Sistem ini menggunakan plat aluminium 5mm sebagai dasar penempatan motor, encoder dan komponen elektrik lainnya yang digunakan untuk menunjang sistem *possisioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32 berbasis *fuzzy logic controller* ukuran dari robot ini yaitu Panjang = 46cm lebar = 46cm tinggi = 80cm gambar dibawah menunjukkan rancangan desain mekanik dari *possisioning mobile robot omnidirectional wheel* menggunakan STM32 berbasis *fuzzy logic controller*.

Berikut ini merupakan rancangan diagram alir dari perancangan *software Atholic*. Perangkat lunak *atholic* akan memproses data masukan yang telah didapat dengan metode *fuzzy logic controller*. Pembacaan jarak dan sudut serta data dari sensor akan dikirim ke kontroler. Kemudian STM32 akan mengirimkan nilai ke *driver motor* berupa PWM untuk mengatur kecepatan motor sesuai dengan *set point* yang telah menggunakan kaidah kaidah pengendali *fuzzy logic controller*. Apabila jarak dan sudut yang ditetapkan sudah sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan maka motor akan berhenti, jika posisi berhenti tidak sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan maka akan terbaca sebagai *error* dan *delta error* yang akan menjadi acuan dari pengendali *fuzzy logic controller* sehingga mengubah Kembali kecepatan motor untuk mengatur posisi robot. Proses tersebut akan di ulang ulang hingga posisi dan sudut robot sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan.



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Sistem

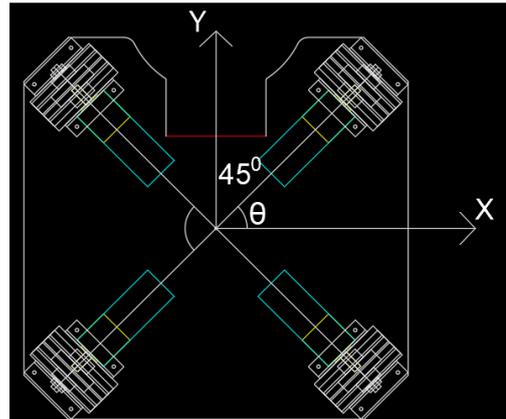
Gyroscope

Kompas digital yang digunakan memanfaatkan *gyroscope* sumbu *yaw* pada modul MPU-6050. Program ini dikembangkan menggunakan *library open source*, yang memanfaatkan fungsi yang sudah disertakan dalam modul, yaitu *Digital Motion Processing (DMP)*, yang memiliki algoritma pemrosesan gerakan 3 dimensi dan pengenalan gerakan. Keluaran dari DMP yang digunakan adalah keluaran berupa data *quaternion* dari posisi *gyroscope*. Kemudian konversikan data *quaternion* ke data sudut *yaw* dari *gyroscope*, dan gunakan rumus berikut untuk mendapatkan sudut ke arah robot:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2(q_1q_2 - q_0q_3)}{2(q_0^2 + q_1^2) - 1} \right) \quad (2)$$

Odometry

Metode *odometry* adalah metode memperkirakan perubahan koordinat posisi relatif dari waktu ke waktu dengan menggunakan gerakan roda. Pada robot beroda, sensor yang digunakan untuk *input* pengukuran jarak adalah *rotary encoder* yang digunakan untuk mendeteksi jumlah putaran roda. Metode *odometry* ini didasarkan pada kinematika robot, yang menentukan arah dan kecepatan robot. Robot yang digunakan termasuk pada robot *holonomic* sehingga robot dapat bergerak ke segala arah tanpa mengubah orientasi robot.



Gambar 6. Posisi Roda Robot

$$(x, y, \theta) \quad (3)$$

$$Vx(t) = dx(t)/dt \quad (4)$$

$$Vy(t) = dy(t)/dt \quad (5)$$

$$\omega(t) = d\theta(t)/dt \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} Vx(t) \\ Vy(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) & \sin(\theta(t)) & 0 \\ -\sin(\theta(t)) & \cos(\theta(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(t) \\ Vn(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Vx(t) = V(t) \cdot \cos(\theta(t)) + Vn(t) \cdot \sin(\theta(t)) \quad (8)$$

$$Vy(t) = V(t) \cdot -\sin(\theta(t)) + Vn(t) \cdot \cos(\theta(t)) \quad (9)$$

$$\omega(t) = \omega(t) \quad (10)$$

Dengan :

- (x, y, θ) = Posisi lokal robot(m)
- (V(t), Vn(t), ω(t)) = Kecepatan linier sumbu robot(m/s)
- (Vx(t), Vy(t), ω(t)) = Kecepatan linier sumbu statis(m/s)

Dalam kinematika dikenal istilah *forward kinematic* dan *invers kinematic*, dimana *forward kinematic* adalah metode untuk menentukan orientasi atau jarak robot berdasarkan kecepatan roda, sedangkan *invers kinematic* kebalikan dari *forward kinematic* yaitu metode untuk menentukan nilai kecepatan setiap roda dari referensi jarak dan orientasi yang akan dituju. Persamaannya dapat dilihat dibawah,

$$\begin{bmatrix} V_0(t) \\ V_1(t) \\ V_2(t) \\ V_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & d \\ -1 & 0 & d \\ 0 & -1 & d \\ 1 & 0 & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(t) \\ Vn(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$V(t) = \left(\frac{1}{2}\right)(V_3(t) - V_1(t)) \quad (11)$$

$$V_n(t) = \left(\frac{1}{2}\right)(V_0(t) - V_2(t)) \quad (12)$$

$$\omega(t) = \left(\frac{V_0(t)+V_1(t)+V_2(t)+V_3(t)}{4.d}\right) \quad (13)$$

Dengan :

(V_0, V_1, V_2, V_3) = kecepatan roda(m/s)

d = jarak titik pusat dengan roda(cm)

Pada setiap motor penggerak robot terdapat sebuah *rotary encoder* yang berada didalam motor penggerak tersebut yang digunakan untuk membandingkan jarak antara *rotary encoder* tambahan dengan 4 *rotary encoder* yang dimiliki didalam setiap motor penggerak hal tersebut berguna untuk menambah efektifitas sensor dan mengurangi nilai *error* yang terjadi akibat roda yang tergelincir. Rumus yang digunakan untuk menghitung jarak tempuh robot menggunakan 4 *rotary encoder* yang berada didalam motor yaitu:

$$X = \left(\frac{1}{2}\right) (r_4 - r_2) \cos(45^\circ) + \left(\frac{1}{2}\right) (r_1 - r_3) \sin(45^\circ) \quad (15)$$

$$Y = \left(\frac{1}{2}\right) (r_4 - r_2) - \sin(45^\circ) + \left(\frac{1}{2}\right) (r_1 - r_3) \cos(45^\circ) \quad (16)$$

$$Z = \text{pembacaan gyroscope} \quad (17)$$

Dengan:

X = pembacaan jarak pada sumbu x(m)

Y = pembacaan jarak pada sumbu y(m)

Z = arah hadap robot(derajat)

r_1, r_2, r_3, r_4 = pembacaan jarak pada setiap *encoder* motor(m)

Pengaplikasian perhitungan rumus *encoder* pada robot akan mempengaruhi pergerakan 4 motor penggerak. Perputaran pergerakan motor penggerak tergantung pada arah rotasi motor itu sendiri dengan menggunakan rumus :

$$m_1 = (-x') + y' + (-z') \quad (18)$$

$$m_2 = (-x') + (-y') + (-z') \quad (19)$$

$$m_3 = x' + (-y') + (-z') \quad (20)$$

$$m_4 = x' + y' + (-z') \quad (21)$$

Dengan:

m_1, m_2, m_3, m_4 = pergerakan setiap motor

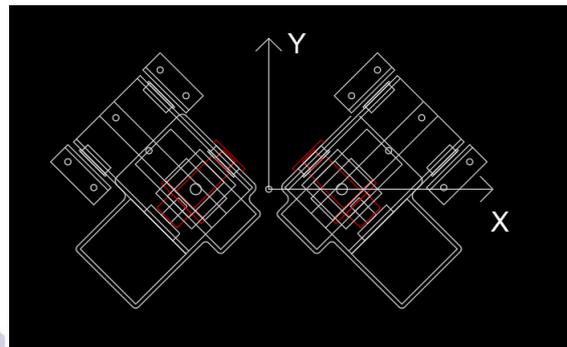
x' = perputaran roda untuk sumbu x

y' = perputaran roda untuk sumbu y

z' = perputaran roda untuk sumbu z

Penggunaan *rotary encoder* tambahan berfungsi untuk meminimalisir tergelincir yang terjadi di *rotary encoder* yang terdapat pada motor penggerak, hal ini dapat memaksimalkan perhitungan jarak tempuh pada robot yang

penting untuk melakukan *positioning* di koordinat yang telah ditentukan. Perhitungan dan posisi peletakan *rotary encoder* pada robot dapat dilihat pada rumus dan gambar 7 berikut:

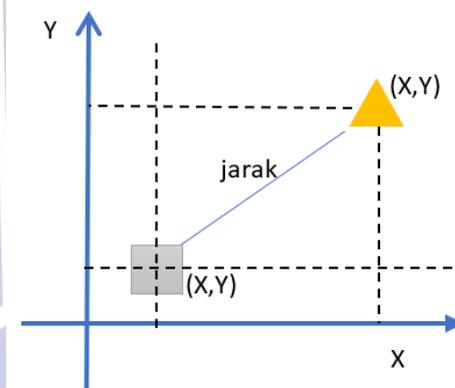


Gambar 7. Posisi *Rotary Encoder*

$$X = r_1 \cdot \cos(45^\circ) + r_2 \cdot \sin(45^\circ) \quad (22)$$

$$Y = r_1 \cdot -\sin(45^\circ) + r_2 \cdot \cos(45^\circ) \quad (23)$$

$$Z = \text{pembacaan gyroscope} \quad (24)$$



Gambar 8. Ilustrasi Pergerakan Robot

Untuk menghitung jarak menjadi titik koordinat yang bertujuan mengkonversi jarak terukur dalam satuan centimeter kedalam koordinat (x,y). dan sudut robot θ diperoleh dari sudut *gyroscope*. Perhitungan dapat dilakukan dengan prinsip tigonometri, maka diperoleh rumus mencari koordinat x dan y dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$x = r \cos \theta \quad (25)$$

$$y = r \sin \theta \quad (26)$$

Dengan :

r = jarak yang akan ditempuh(m)

x = jarak koordinat x(m)

y = jarak koordinat y(m)

Sedangkan untuk mendapatkan nilai jarak tempuh robot, nilai pulsa dari *rotary encoder* perlu dikonversikan

agar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$\text{Keliling roda} = \text{diameter roda} \times \pi \quad (27)$$

$$\text{Jarak} = \frac{\text{pulsa encoder}}{\text{resolusi encoder per rotasi}} \times \text{keliling roda} \quad (28)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sensor Gyroscope

Pengujian sensor *gyroscope* berguna untuk mengetahui arah hadap dari robot. Pengujian dilakukan dengan memutar sensor *gyroscope* dengan sudut tertentu kemudian mengamati hasil yang dibaca oleh sensor *gyroscope*, sehingga dapat diketahui perubahan sudut yang sebenarnya. Table dibawah ini merupakan hasil data nilai dari keluaran *gyroscope*

Tabel 1. Pengujian Sensor Gyroscope

No	Sudut	Nilai keluaran gyroscope	Nilai error
1	0	0	0
2	10	10,1	0,1
3	20	19,6	0,4
4	30	29,7	0,3
5	40	39,8	0,2
6	50	49,8	0,2
7	60	59,3	0,7
8	70	69,5	0,5
9	80	79,3	0,7
10	90	88,7	1,3
11	100	98	2
12	110	108,6	1,4
13	120	118,6	1,4
14	130	128,3	1,7
15	140	137,9	2,1
16	150	148,1	1,9
17	160	158,4	1,6
18	170	167,7	2,3
19	180	177,7	2,3
RMSE			1,1

Berdasarkan tabel diatas hasil pengujian sensor *gyroscope* dibandingkan dengan sudut sudut yang telah ditentukan memiliki *error* RMS sebesar 1,1 derajat. Dengan begitu dapat diketahui sensor *gyroscope* yang digunakan dalam penelitian ini cukup bagus dan memiliki kesalahan pembacaan sekitar 1 derajat saja. Hal ini dapat membantu pergerakan robot dalam menyesuaikan arah hadap robot dan mencegah *error* yang berlebihan saat robot dijalankan. Penggunaan tipe sensor *gyroscope* yang berbeda akan menghasilkan *error* pembacaan sudut yang berbeda juga, dalam penelitian ini digunakan tipe sensor MPU-6050 yang cukup banyak ditemukan dipasaran dan memiliki pembacaan sensor yang cukup bagus.

Pengujian Sensor Rotary Encoder

Pengujian *rotary encoder* berguna untuk mengetahui koordinat posisi robot. Pengujian ini dilakukan dengan menggeser robot ke koordinat koordinat tertentu, kemudian hasil pembacaan *rotary encoder* di bandingkan dengan koordinat yang sebenarnya. Pengukuran dilakukan setiap 50 cm mulai dari jarak 0 cm hingga 300 cm. pada pengujian ini dilakukan dengan 4 arah yang berbeda yaitu maju, mundur, kanan, dan kiri. Berikut merupakan hasil dari pengujian yang disajikan dalam bentuk table dibawah ini

Tabel 2. Pengujian Rotary Encoder Arah Maju

NO	Target		Hasil		error (cm)	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	0	50	-1	49	1	1
2	0	100	-1	99	1	1
3	0	150	-2	146	2	4
4	0	200	-2	195	2	5
5	0	250	-3	246	3	4
6	0	300	-4	296	4	4
RMSE					2,2	3,2

Berdasarkan Tabel 2. hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *real plant* sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* dapat diketahui bahwa *error* yang didapatkan pada saat pengujian arah maju sistem mendapatkan *error* sebesar 2,2 cm pada sumbu x dan 3,2 cm pada sumbu y.

Tabel 3. Pengujian Rotary Encoder Arah Mundur

NO	Target		Hasil		error	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	0	-50	0	-49	0	1
2	0	-100	0	-96	0	4
3	0	-150	0	-145	0	5
4	0	-200	1	-193	1	7
5	0	-250	0	-245	0	5
6	0	-300	2	-295	2	5
RMSE					0,5	4,5

Berdasarkan Tabel 3. hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *real plant* sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* dapat diketahui bahwa *error* yang didapatkan pada saat pengujian arah mundur sistem mendapatkan *error* sebesar 0,5 cm pada sumbu x dan 4,5 cm pada sumbu y.

Tabel 4. Pengujian Rotary Encoder Arah Kanan

NO	Target		Hasil		error	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	50	0	-49	0	1	0
2	100	0	-97	0	3	0
3	150	0	-146	-1	4	1
4	200	0	-194	-1	6	1
5	250	0	-244	-2	6	2
6	300	0	-293	-2	7	2
RMSE					4,5	1

Berdasarkan Tabel 4. hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *real plant* sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* dapat diketahui bahwa *error* yang didapatkan pada saat pengujian arah mundur sistem mendapatkan *error* sebesar 4,5 cm pada sumbu x dan 1 cm pada sumbu y.

Tabel 5. Pengujian Rotary Encoder Arah Kiri

NO	Target		Hasil		error	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	-50	0	49	1	1	1
2	-100	0	99	4	1	4
3	-150	0	148	5	2	5
4	-200	0	197	5	3	5
5	-250	0	245	8	5	8
6	-300	0	292	7	8	7
RMSE					3,3	5

Berdasarkan Tabel 5. hasil analisis respon dinamik sistem pada pengujian *real plant* sistem *positioning mobile robot omnidirectional wheel* dapat diketahui bahwa *error* yang didapatkan pada saat pengujian arah mundur sistem mendapatkan *error* sebesar 3,3 cm pada sumbu x dan 5 cm pada sumbu y.

Diapatkan dari hasil pengujian sistem dari tabel 2 hingga tabel 5 dapat dihitung rata rata *error* pergerakan robot yaitu :

$$error\ RMS\ x = \frac{RMSE_{x1} + RMSE_{x2} + RMSE_{x3} + RMSE_{x4}}{4}$$

$$error\ RMS\ x = \frac{2,2 + 0,5 + 4,5 + 3,3}{4}$$

$$error\ RMS\ x = \frac{10,5}{4}$$

$$error\ RMS\ x = 2,625 \tag{29}$$

$$error\ RMS\ y = \frac{RMSE_{y1} + RMSE_{y2} + RMSE_{y3} + RMSE_{y4}}{4}$$

$$error\ RMS\ y = \frac{3,2 + 4,5 + 1 + 5}{4}$$

$$error\ RMS\ y = \frac{13,7}{4}$$

$$error\ RMS\ y = 3,425 \tag{30}$$

Sehingga dihasilkanlah hasil *error* rata rata dari sistem ini sebesar 2,625 cm pada sumbu x dan 3,425 cm pada sumbu y. Dengan hasil yang telah didapatkan seperti yang telah dijelaskan diatas maka seperti penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya penerapan metode *fuzzy* pada *Positioning Mobile Robot Omnidirectional Wheel* sangat berguna untuk mengurangi *error* yang terjadi akibat tergelincir dan kesalahan perhitungan pada sistem tersebut. *Error* yang telah disebutkan lebih kecil dibandingkan dengan penelitian yang menjadi rujukan dari penelitian ini.

PENUTUP

Simpulan

Sistem *positioning mobile robot* menggunakan STM32 berbasis *fuzzy logic controller* berhasil dibuat dan bekerja dengan baik. Penerapan *fuzzy logic controller* telah dirancang dan menghasilkan respon yang cukup bagus untuk memposisikan robot pada koordinat yang telah ditentukan. Pembacaan dan pengolahan sensor *rotary encoder* yang bagus membantu robot memposisikan koordinatnya dengan baik. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah, *error* RMS yang terjadi pada *gyroscope* dibandingkan oleh pembanding kompas pada telepon genggam sebesar 1,1 derajat. pada pengujian *real plant* untuk *rotary encoder* dihasilkan *error* RMS sebesar 2,625 cm pada sumbu x dan 3,425 cm pada sumbu y.

Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk pengembangan dari penelitian ini seperti pengembangan penentuan posisi robot menggunakan kamera yang dapat meminimalisir *error* yang terjadi dengan menggunakan *rotary encoder* dan *gyroscope*. Pengembangan metode pengendalian lain seperti PID, PID-*fuzzy*, dan lain sebagainya untuk mendapatkan nilai *error* yang seminimal mungkin. Penggunaan sensor sensor yang lebih akurat dari penelitian yang telah dilakukan agar pembacaan menjadi lebih baik dan *error* yang terjadi dapat lebih rendah. Sistem dapat dikembangkan begitu luas sesuai dengan kegunaan dan kebutuhan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Dahhan, Mohammed Rabea Hashim, And Mohammad M. Ali. 2016. *Path Tracking Control Of A Mobile Robot Using Fuzzy Logic*. 2016 13th International Multi-Conference On Systems, Signals & Devices (SSD). IEEE.

- Autonic. 2015. *Pengertian Rotary Encoder*. United State: Autonics.
- Hidayat, R. Cahya. 2015. *Implementasi Sistem Kendali Gerak Lurus Robot Three Omni-Directional Drive Dengan Metode Pid Fuzzy*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Machali, Imam 2016. *Menulis Karya Ilmiah: Panduan Praktis Menulis Karya Ilmiah Terpublikasi*. Yogyakarta: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Ogata, Katsuhiko. 1995. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Bandung: Pearson Education
- Qian, Jia, and Chao chang. 2019. *Motion Control Of Omnidirectional Mobile Robot Based On Fuzzy Pid*. Chinese Control And Decision Conference (Ccde) : 5149-5154
- Rachman, Aulia Aditya 2017. *Sistem Perancangan Rute Gerak Pada Robot Sepakbola Beroda*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Rachmawan, Adnan 2017. *Penentuan Posisi Robot Sepa Bola Beroda Menggunakan Rotary Encoder Dan Kamera*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Rahib H.Abiyev, Nurullah Akkaya, and Irfan Gunsel. 2017. *Fuzzy Control Of Omnidirectional Robot*. 9th International Conference On Theory And Application Of Soft Computing, Computing With Words And Perception, ICSCCW : 609-616
- Rahman, Maulidi, and Hugo Aprilianto. 2017. *Penerapan Metode Fuzzy Pada Robot Beroda Menggunakan Omni-Directional Wheels*. Surabaya: JUTISI 5.2
- Sugiyono. 2003. *Metode Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Tzafestas, Spyros G. 2013. *Introduction To Mobile Robot Control*. Elseiver.
- Watanabe, Keigo. 1998. *Control Of An Omnidirectional Mobile Robot*. 1998 Second International Conference. Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems. Proceedings KES'98 (Cat. No. 98EX111). IEEE. P. 51-60