

KONTROL KESTABILAN GERAK ROBOT LINE FOLLOWER DENGAN ACCELEROMETER DAN GYROSCOPE MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY

CONTROL OF MOTION STABILITY OF THE LINE FOLLOWER ROBOT WITH ACCELEROMETER AND GYROSCOPE USING FUZZY LOGIC METHOD

Nandika Wibowo¹, Angga Rusdinar², Erwin Susanto³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹nandikawbw@students.telkomuniversity.ac.id, ²anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id,
³erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Saat ini, penerapan robot di dunia industri sedang berkembang pesat. Salah satu contohnya adalah penggunaan robot *line follower* sebagai *Automated Guided Vehicle* (AGV). Dalam penerapannya, penggunaan robot *line follower* sebagai AGV masih memerlukan beberapa pengembangan. Seperti gerakan robot yang kurang stabil selama mengikuti jalur, maupun proses lokalisasi tujuan robot. Selain itu, penerapan mekanika *differential wheel* pada AGV dianggap belum efisien. Berdasarkan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan sistem mekanika *car type drive* pada AGV dan menggunakan metode logika fuzzy untuk mengontrol kestabilan gerak AGV. Selain itu, penelitian juga bertujuan untuk menerapkan sensor accelerometer dan gyroscope untuk membaca gerak perpindahan robot.

Penelitian menghasilkan kesimpulan bahwa sistem *car type drive* yang digunakan sudah cukup baik dengan rata-rata error pada sistem *steering* roda kiri sebesar 0.91° dan roda kanan sebesar 0.84° . Sedangkan untuk sistem penggerak maju robot memiliki error sebesar 0.116 m. Logika fuzzy yang digunakan oleh robot masih memiliki rata-rata error sebesar 1.28 cm. Namun untuk penerapan sensor accelerometer dan gyroscope sebagai pembaca jarak perpindahan robot masih kurang ideal dengan nilai error yang terus meningkat selama pembacaan percepatan.

Kata kunci : *line follower*, *car type drive*, logika fuzzy, accelerometer, gyroscope

Abstract

Nowdays, the application of robots in the industrial world is still growing rapidly. One of the example is the implementation of a line follower robot as Automated Guided Vehicle (AGV). In practice, the implementation of a line follower robot as AGV still need some development. Such as robot movements which still less stable during following the path, and the process of purpose localization robot. In addition, the application of differential wheel mechanics at AGV is still not efficient. Based on these issues, this study aims to implement a car type drive mechanics of AGV and using fuzzy logic to control the stability of the motion of the AGV. In addition, this study also aims to implement the accelerometer and gyroscope sensor to read the movement of the robot motion.

The result show that the car type drive which used is good enough with the average error in the left and right wheel steering system are 0.91° and 0.84° . On forward movement drive systems, robot has an error of 0.116 m. Fuzzy logic which is used by the robot have 1.28 cm average error. However, the application of accelerometer and gyroscope sensor as the reader of robot movement distance is still not ideal with the increasing error value for reading acceleration.

Keyword : line follower, car type drive, fuzzy logic, accelerometer, gyroscope

1. Pendahuluan

Saat ini, penerapan robot di dunia industri sudah cukup banyak. Salah satunya adalah penerapan robot *Automated Guided Vehicle* berbasis *line follower*. *Automated Guided Vehicle* (AGV) yang menggunakan *line follower* merupakan robot yang berjalan mengikuti garis atau jalur (biasanya berupa garis hitam) berdasarkan pembacaan sensor cahaya. Untuk mencapai lokasi tujuan AGV, biasanya menggunakan RFID untuk mengetahui lokasi akhir AGV. Penggunaan RFID ini dinilai tidak efisien, sehingga perlu dibuat sistem lokalisasi baru. Saat ini, sistem lokalisasi yang banyak digunakan adalah menggunakan GPS dan *encoder*. Penerapan *encoder* sebagai sistem lokalisasi tujuan masih memiliki kelemahan diantaranya adalah akurasi pembacaan *encoder*, selain itu

bentuk dan kondisi permukaan jalur yang tidak sesuai kriteria juga mempengaruhi pembacaan *encoder*. Sedangkan untuk penggunaan GPS, dinilai masih terlalu mahal dan kurang *reliable* karena adanya *delay* pengiriman data yang bergantung pada jaringan. Selain itu, penggunaan GPS juga terbatas jika dilakukan di dalam ruang karena adanya penghalang. Hal ini menyebabkan AGV mengalami kesulitan dalam melakukan lokalisasi tujuan akhir.

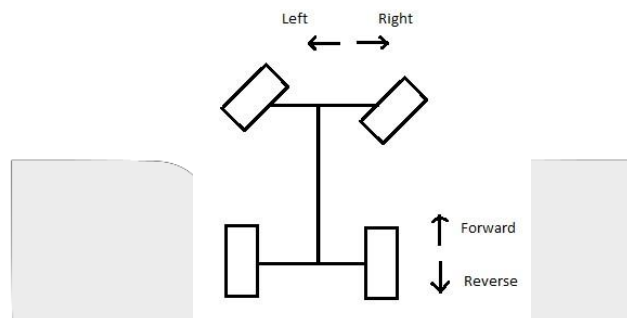
Berdasarkan paparan di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengimplementasikan dan menganalisis penerapan logika fuzzy serta efek penerapan sensor accelerometer dan gyroscope untuk kestabilan dan sistem lokalisasi tujuan. Selain itu, penelitian ini juga untuk mengetahui penerapan sistem *car type drive* pada AGV. Pada penelitian ini digunakan metode logika fuzzy untuk mengontrol gerak robot dan metode kalman filter untuk mengurangi *noise* pada sensor accelerometer dan gyroscope.

2. Dasar Teori

Pengembangan terhadap kontrol kestabilan gerak *line follower* dengan accelerometer ini memerlukan dasar teori yaitu sistem *car type drive*, logika fuzzy, filter, dan penghitungan perpindahan robot.

2.1. Sistem Car Type Drive

Sistem *car type drive* merupakan salah satu jenis *driving* roda pada *mobile robot*. Karakteristik dari sistem ini adalah adanya sepasang roda yang di *drive* dan sepasang roda lagi yang dijadikan sistem *steering*. Contoh dari sistem ini adalah sistem kemudi mobil. Dibandingkan dengan sistem *differential wheel*, *mobile robot* dengan sistem ini lebih efisien dari segi penggunaan daya listrik dan dari biaya pembuatan.



Gambar 1 Ilustrasi Car Type Drive

2.2. Logika Fuzzy

Logika fuzzy merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing*. Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika fuzzy tersebut.^[2] Ada beberapa alasan digunakannya logika fuzzy, antara lain:

- Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Karena logika fuzzy menggunakan dasar teori himpunan.
- Logika fuzzy sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan.
- Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat.
- Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

Logika fuzzy sendiri terdiri dari berbagai macam metode, diantaranya: *fuzzy inference system*, *fuzzy clustering*, *fuzzy database*, dll. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, akan digunakan *fuzzy inference system* dengan metode Takagi-Sugeno.

2.3. Low Pass Filter

Sensor MPU6050 memiliki sensitivitas yang tinggi, sehingga diperlukan filter untuk mengurangi *noise* yang ada. Dalam tugas akhir ini, digunakan filter *low pass*. Sebuah *low pass filter* akan melewatkan sinyal frekuensi rendah dan menolak sinyal pada frekuensi di atas frekuensi *cut off* filter ini^[3]. Filter yang digunakan dalam sistem ini adalah filter *low pass* diskrit dikarenakan data yang diolah adalah data digital. Persamaan dari filter tersebut sebagai berikut:

$$\left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \quad (1)$$

Dimana:

A = data yang sudah terfilter

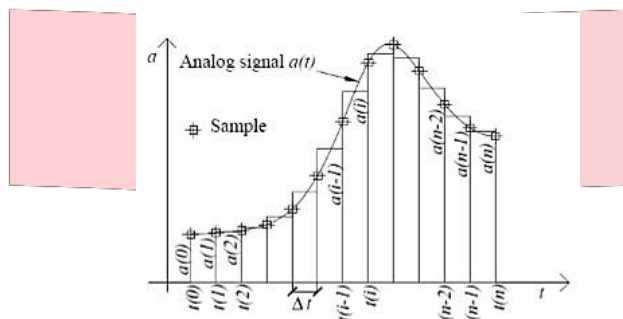
B = masukan data saat t

C = data saat t-1

α = koefisien filter ($0 < \alpha < 1$)

2.4. Penghitungan Perpindahan Gerak

Dalam tugas akhir ini, data yang dibutuhkan adalah data perpindahan gerak robot untuk lokalisasi tujuan. Untuk mendapatkan data perpindahan tersebut maka perlu dilakukan pemrosesan terhadap data *accelerometer*. Pemrosesan data percepatan dari MPU6050 ini dilakukan dengan melakukan pengintegralan sebanyak dua kali terhadap data percepatan gerak robot. Untuk melakukan pengintegralan sebanyak dua kali, dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan metode Trapezoidal.



Gambar 2 Pendekatan Integral Metode Trapezoidal^[1]

Penghitungan sinyal diskrit percepatan dalam domain waktu dapat dilakukan menggunakan persamaan:

$$\int \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \quad \Sigma \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \quad (2)$$

Dimana:

$a(t)$: gelombang kontinu dalam domain waktu

$a(i)$: sampel data percepatan ke-i

Δt : waktu sampel data

n : banyaknya sampel yang direkam

Dari persamaan di atas, maka dapat dihitung kecepatan serta perpindahan gerak dengan persamaan di bawah ini:

$$\left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right)$$

(3)

Dimana:

$$\left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right)$$

(4)

$a(i)$: sampel data percepatan ke-i

$v(i)$: sampel data kecepatan ke-i

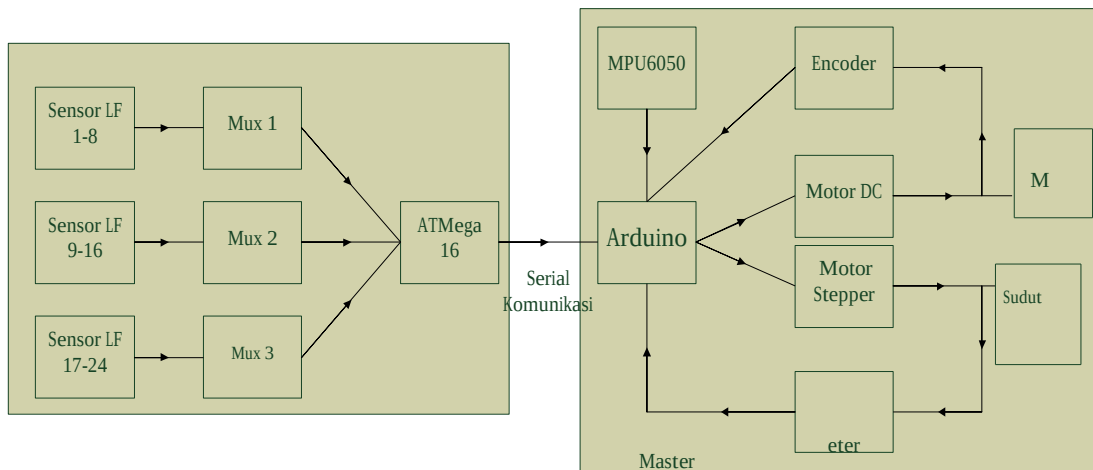
$d(i)$: sampel data perpindahan ke-i

3. Perancangan Sistem

Dalam merealisasikan penelitian mengenai kontrol kestabilan gerak robot *line follower* ini maka dirancang sistem sebagai berikut:

3.1. Diagram Blok Sistem

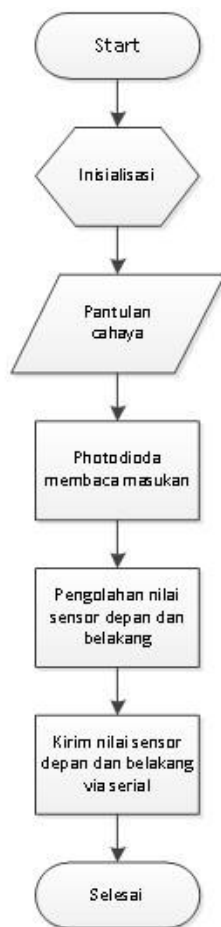
Secara umum sistem terdiri dari dua buah mikrokontroler yang masing-masing difungsikan sebagai *master* dan *slave*, dua buah masukan, dan dua buah keluaran. Sistem digambarkan sebagai berikut :



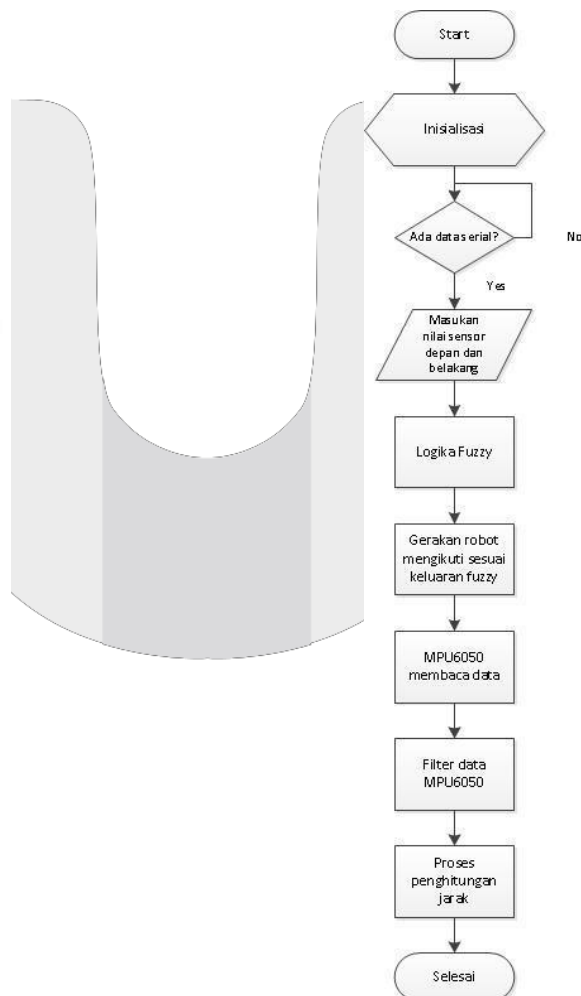
Gambar 3 Gambaran Umum Sistem

Sistem yang terealisasi berupa robot AGV (*Automated Guided Vehicle*) yang menggunakan prinsip kerja robot pengikut garis dengan 24 sensor photodiode. Sistem juga ditambahkan sensor MPU6050 untuk membaca perpindahan robot selama mengikuti jalur. Aktuator dari sistem ini berupa motor DC sebagai penggerak robot untuk maju dan motor stepper untuk membelokkan robot ke kanan atau ke kiri.

3.2. Flowchart Sistem



Gambar 4 Flowchart Slave



Gambar 5 Flowchart Master

3.3. Prinsip Kerja Sistem

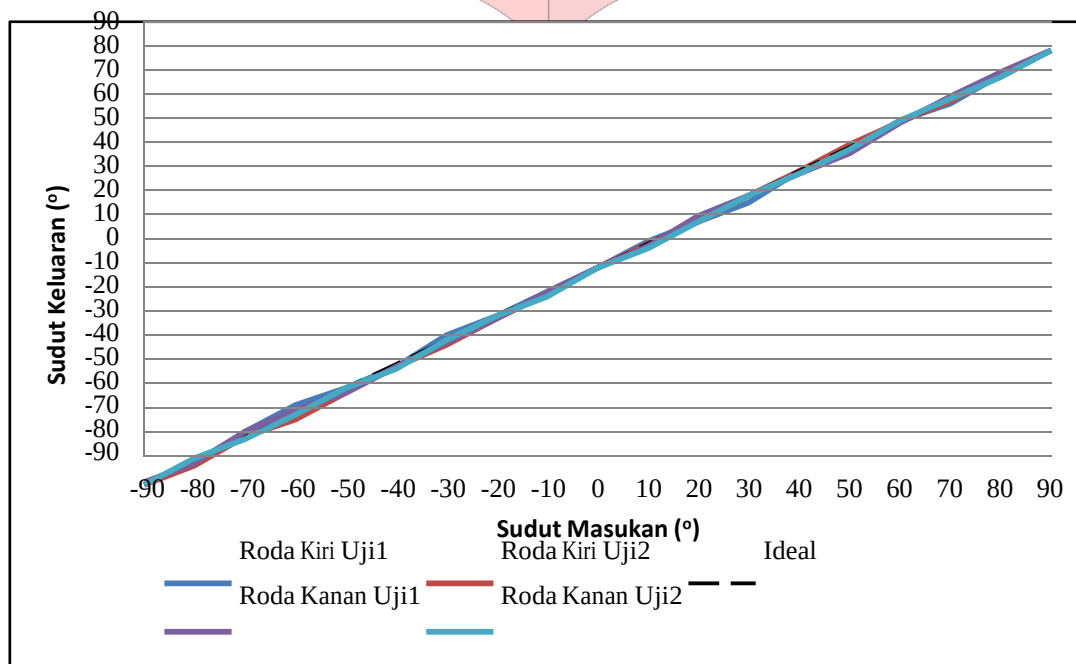
Masukan utama sistem berupa pembacaan jalur menggunakan 24 sensor photodiode yang dikirim melalui multiplexer ke ATmega16. Sebagai mikrokontroler *slave*, ATmega dikhususkan hanya untuk memproses pembacaan jalur. Setelah membaca hasil pembacaan photodiode, ATmega akan mengirimkan data hasil pembacaan sensor depan dan sensor belakang secara serial ke mikrokontroler *master* yaitu Arduino Mega 2560. Di dalam Arduino Mega 2560, data serial kemudian diproses dalam logika fuzzy untuk menghasilkan keluaran berupa pwm motor dc dan sudut motor stepper. Selama robot bergerak sesuai logika fuzzy, sensor MPU6050 akan membaca percepatan gerak robot. Hasil pembacaan ini kemudian akan difilter terlebih dahulu menggunakan *Low Pass Filter* untuk mengurangi *noise*. Setelah difilter, data hasil pembacaan MPU6050 kemudian diproses melalui penghitungan dengan metode tertentu untuk mendapatkan data perpindahan robot. Data perpindahan robot inilah yang nantinya menjadi acuan lokalisasi tujuan robot.

4. Analisis dan Pembahasan Sistem

Dalam penelitian ini dibahas beberapa hal meliputi performansi mekanik sistem, performansi logika fuzzy, dan hasil pengukuran jarak dengan encoder dan mpu6050.

4.1. Performansi Mekanik Sistem

Dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian terhadap performansi mekanik sistem berupa sistem steering dan keluaran driver motor dc. Dalam pengujian tersebut didapatkan beberapa data pengujian sebagai berikut :



Gambar 6 Grafik Pengujian Sistem Steering

Tabel 1 Pengujian-1 Driver Motor DC

Arah	PWM	Pengujian – 1			
		V _{reff}	V _o Driver	V _o Perhitungan	Error
Maju	50	11.4	3.03	2.23	0.8
	100	11.4	6.57	4.47	2.1
	150	11.4	8.68	6.70	1.98
	200	11.4	9.84	8.94	0.9
	250	11.4	10.76	11.18	0.42

Mundur	50	11.35	3.25	2.22	1.03
	100	11.35	6.74	4.45	2.29
	150	11.35	8.73	6.68	2.05
	200	11.35	9.79	8.90	0.89
	250	11.35	10.58	11.13	0.55

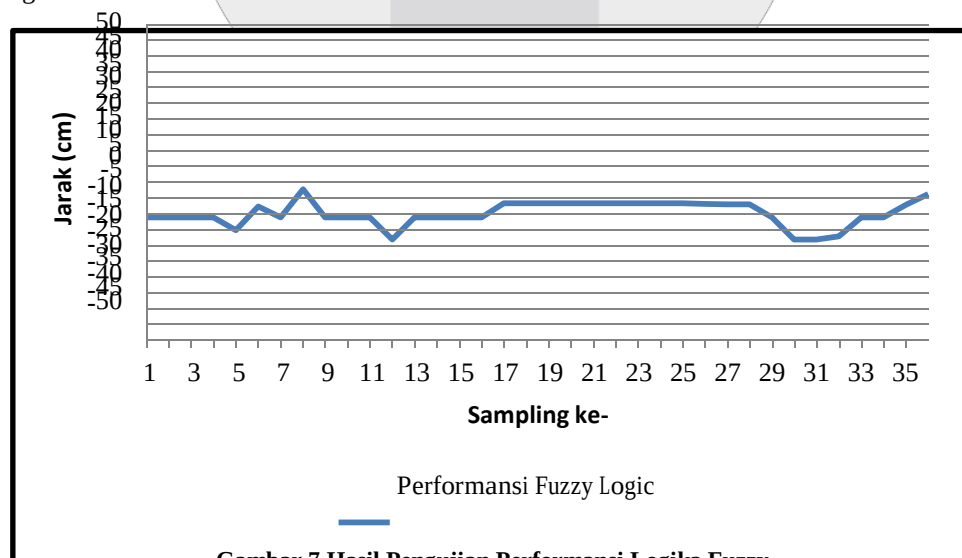
Tabel 2 Pengujian-2 Driver Motor DC

Arah	PWM	Pengujian – 2			
		Vreff	Vo Driver	Vo Perhitungan	Error
Maju	50	11.32	3.04	2.21	0.83
	100	11.32	6.65	4.43	2.22
	150	11.32	8.68	6.66	2.02
	200	11.32	9.78	8.88	0.9
	250	11.32	10.53	11.10	0.57
Mundur	50	11.5	3.31	2.25	1.06
	100	11.5	6.75	4.51	2.24
	150	11.5	8.61	6.76	1.85
	200	11.5	9.68	9.01	0.67
	250	11.5	10.38	11.27	0.89

Berdasarkan gambar 6 di atas maka dapat dianalisis nilai error sistem steering robot tidak besar dan mendekati nilai ideal. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error untuk roda kiri sebesar 0.91° dan roda kanan sebesar 0.84° . Sedangkan untuk driver motor dc berdasarkan tabel 1 dan tabel 2, menunjukkan bahwa nilai error masih terlalu besar. Hal ini disebabkan ketidak idealan komponen maupun jalur driver motor dc.

4.2. Performansi Logika Fuzzy

Dalam penelitian telah dilakukan pengujian terhadap performansi logika fuzzy selama mengikuti jalur dengan hasil seperti gambar berikut:

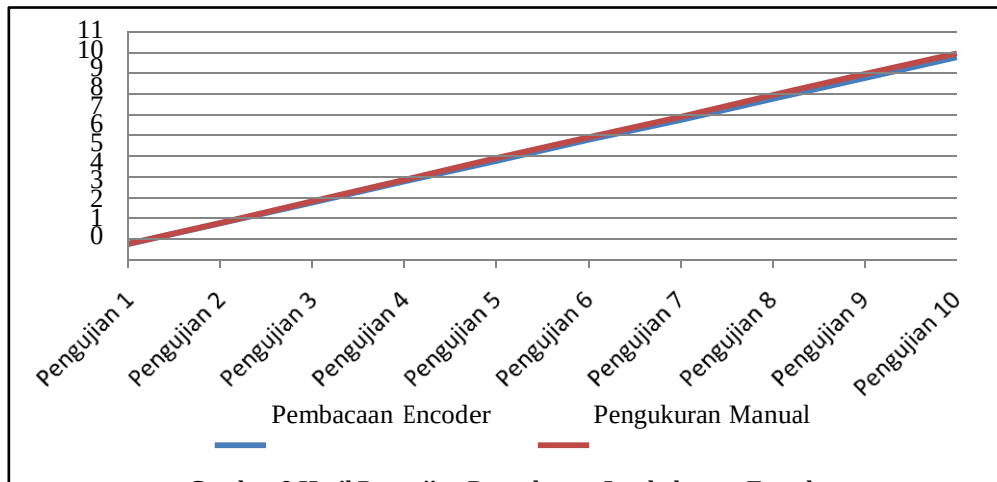


Gambar 7 Hasil Pengujian Performansi Logika Fuzzy

Berdasarkan gambar 7 di atas, dapat dianalisis bahwa seharusnya performansi logika fuzzy yang baik menunjukkan grafik lurus di titik 0 atau tidak ada error, namun sistem masih menghasilkan error. Hal ini menunjukkan bahwa logika fuzzy yang digunakan masih belum sempurna. Untuk hasil yang lebih baik, bisa dilakukan perbaikan pada himpunan keanggotaan logika fuzzy.

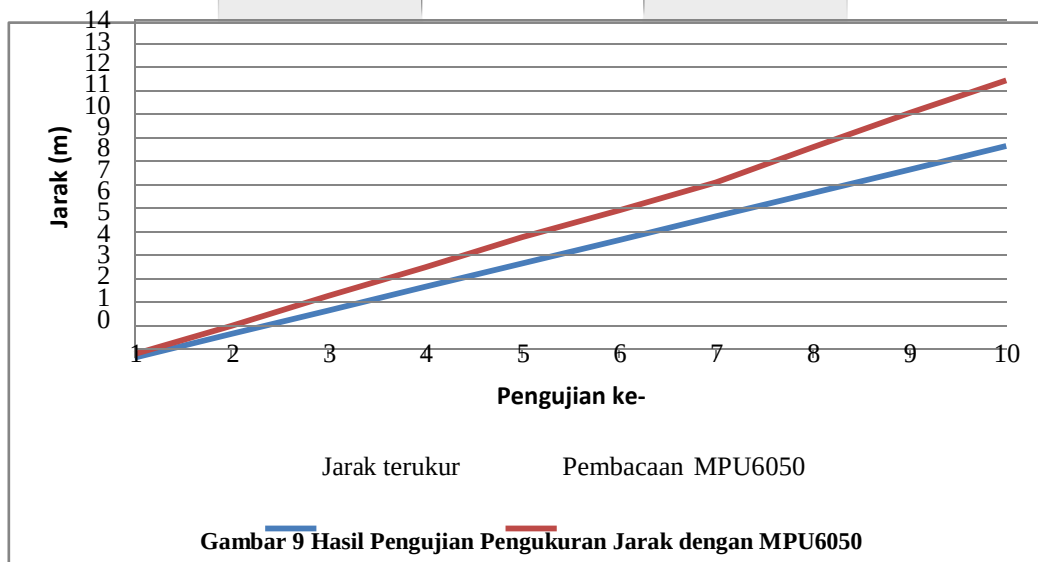
4.3. Pengukuran Gerak Perpindahan Robot

Dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian terhadap pengukuran perpindahan robot menggunakan dua macam sensor yaitu encoder dan sensor accelerometer dan gyroscope MPU6050. Dalam pengujian tersebut didapatkan data sebagai berikut:



Gambar 8 Hasil Pengujian Pengukuran Jarak dengan Encoder

Berdasarkan gambar 7 di atas, maka dapat dilihat bahwa nilai error pembacaan jarak oleh encoder tidak terlalu jauh dari pengukuran sebenarnya namun jika dilihat, grafik pembacaan oleh encoder semakin menjauhi nilai pengukuran sebenarnya. Hal ini menunjukkan semakin jauh jarak yang ditempuh robot maka semakin besar error pembacaan encoder.



Gambar 9 Hasil Pengujian Pengukuran Jarak dengan MPU6050

Berdasarkan gambar 8 di atas, maka dapat dianalisis bahwa pembacaan jarak oleh MPU6050 sangat tidak ideal karena besarnya error yang dihasilkan dari pembacaan. Error ini disebabkan oleh sensitifitas dari sensor MPU6050 terhadap segala macam bentuk pergerakan robot.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, hasil pengujian, dan analisis data, maka dari penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penggunaan sensor line follower dengan 24 sensor photodiode memperluas range pembacaan garis oleh AGV. Hal ini membuat aturan fuzzy yang dibuat bisa lebih banyak dan akurat.
2. Sistem *car type drive* yang diterapkan pada AGV sudah cukup baik dibuktikan dengan pengujian sistem *steering* AGV yang mendekati nilai ideal dengan rata-rata error untuk roda kiri sebesar 0.91° dan untuk roda kanan sebesar 0.84° . Nilai error terbesar hanya sebesar 3° pada roda kiri.
3. Untuk sistem penggerak maju robot masih memiliki rata-rata error yang cukup besar yaitu sebesar 0.116 m dengan error terbesar sebesar 0.21 m. Hal ini disebabkan mekanika penggerak maju robot yang masih belum sempurna.
4. Driver motor DC yang digunakan kurang ideal dengan rata-rata error mencapai 1.31 V dengan error terbesar sebesar 2.9 V.
5. Logika fuzzy yang digunakan dengan *rule* sebanyak 35 aturan masih menghasilkan rata-rata nilai error sebesar 1.28 cm.
6. Penerapan sensor accelerometer dan gyroscope sebagai pembaca jarak perpindahan robot sangat tidak ideal dibuktikan dengan semakin besarnya nilai error yang dihasilkan ketika jarak semakin jauh seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.

Daftar Pustaka:

- [1] Hanis, Nor. (2013). *Altitude Measurement and Calibration on Milling Operation*. Malaysia: University Malaysia Pahang.
- [2] Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [3] Texas Instrument. (2010). *A Basic Introduction to Filters - Active, Passive, and Switched Capacitor*. Diperoleh pada 3 Agustus 2015, dari <http://www.ti.com/lit/an/snoa224a/snoa224a.pdf>

