

DESAIN DAN IMPLEMENTASI ROBOT MOBIL OTOMATIS PENGHINDAR HAMBATAN BERBASIS SENSOR KINECT: SISTEM KONTROL MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF OBSTACLE AVOIDANCE AUTONOMOUS MOBILE ROBOT BASED ON KINECT SENSOR: CONTROL SYSTEM USING FUZZY LOGIC

Rifqi Arridho Abid¹, Agus Virgono, Ir., MT.², Agung Nugroho Jati, ST., MT.³

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

¹arridho.abid@gmail.com, ²avirgono@telkomuniversity.ac.id, ³agungnj@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sebuah mobile robot yang memiliki kemampuan untuk navigasi dan menghindari rintangan, harus dapat berpikir sendiri dalam mengenali konfigurasi yang berbeda dari lingkungan. Dengan kemampuan seperti demikian, akan lebih baik jika *mobile robot* tersebut ditanamkan sebuah metode kontrol yang mudah diterapkan. Sensor yang digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang robot terhadap lingkungannya adalah sensor yang terdapat pada sensor kinect, yaitu *3D Depth Sensors*.

Pada sistem ini PC (*personal computer*) mendapatkan informasi objek berupa sudut objek, dan jarak objek dari sensor Kinect. Data tersebut lalu diolah oleh untuk menentukan arah pergerakan robot. Selanjutnya data yang berupa sudut untuk menentukan pergerakan robot dikirim melalui komunikasi serial ke mikrokontroler atmega128. Data tersebut dijadikan sebagai *set point sensor rotary encoder* untuk sistem *fuzzy logic* yang hasilnya untuk mengontrol kecepatan motor DC.

Dari pengujian yang dilakukan, terlihat dari perhitungan data menggunakan sistem *fuzzy logic* apabila dibandingkan dengan perhitungan data secara manual hanya mempunyai selisih nilai sebesar 0,1 %. Performansi dari sistem robot mobil penghindar hambatan menggunakan metode *fuzzy logic* dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu besar nilai dan bentuk fungsi keanggotaan masukan sistem dan keluaran sistem serta *rule* yang ditanamkan ke sistem.

Kata Kunci : Kinect, Robot, Kinect Robot, Mobile Robot, Fuzzy Logic, Mikrokontroler

Abstract

~~A mobile robot that has ability to navigate and avoid obstacles, must be able to make decision in recognizing the different configurations of the environment. With this ability, it would be better if the control method implemented in the mobile robot. In this robot, used kinect sensor to get the information about the robot and the environment.~~

In this system, a PC (*personal computer*) used to get the information from kinect sensor as object angle, and distance of the object . The data will be processed to determine the movement direction of the robot. Then, the data sent through serial communication to atmega128 microcontroller. The data is used as the set point for the rotary encoder sensor, and as a input to fuzzy logic system. The output of this system is the speed control of DC motor.

From the testing of system, the result from the data calculation using fuzzy logic system when compared with the manually data calculation have a difference value by 0.1% .The performance of the obstacle avoidance mobile robot using fuzzy logic system is affected by several parameters, that is the membership function input and output ,and the rule in the system.

Key words : Kinect, Robot, Kinect Robot, Mobile Robot, Fuzzy Logic, Microcontroller

1. Pendahuluan

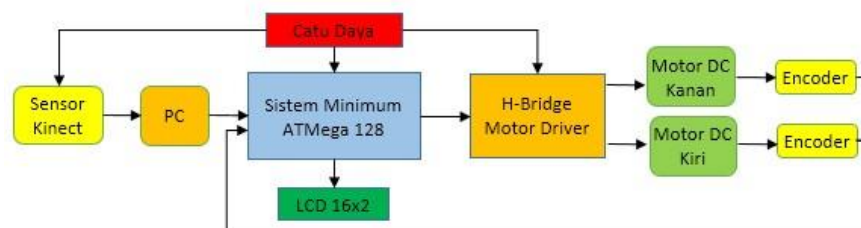
Mobile robot telah banyak berperan penting dalam perkembangan teknologi masyarakat modern. Banyak *mobile robot* dikembangkan sebagai robot pengawas, pemantau bahkan pemeriksa lingkungan. Selain memiliki kemampuan untuk navigasi dan menghindari rintangan, *mobile robot* harus dapat berpikir sendiri dalam mengenali konfigurasi yang berbeda dari lingkungan[8]. Pengembangan *mobile robot* harus memperhatikan aspek tipe robot, sensor, serta algoritma kontrol yang akan digunakan[2]. Dengan kemampuan seperti demikian, akan lebih baik jika *mobile robot* tersebut ditanamkan sebuah metode kontrol yang mudah diterapkan.

Terdapat banyak hasil penelitian tentang *obstacle avoidance mobile robot* yang menggunakan *fuzzy logic* sebagai sistem kontrolnya. Pada hasil penelitian [6], sistem *fuzzy logic* digunakan sebagai algoritma pada robot penghindar objek dan untuk pengenalan pola pada lingkungan yang tidak diketahui oleh robot. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengetahui jarak robot dengan objek. Jarak objek dengan robot digunakan sebagai input dari *fuzzy logic* dengan *output* sistem ini berupa pengontrolan kecepatan motor dc kanan dan motor dc kiri. Hasil penelitian[4], menggunakan *fuzzy logic* untuk pengenalan pola dan menghindari objek dengan sensor kinect sebagai *input*. Sistem ini menggunakan metode mamdani dengan 16 *rules*, 3 *input* dan 1 *output*. Hasil penelitian ini masih terbatas pada simulasi dengan program MATLAB. Pada hasil penelitian[1], *fuzzy logic controller* diimplementasikan pada robot penghindar objek sekaligus pengikut target. Pada penelitian ini tidak ditemukan pengujian dari sistem *fuzzy logic* yang telah dibuat, sehingga hasil dari sistem *fuzzy logic* belum terlihat dengan baik. Hasil penelitian[3], sistem *fuzzy* diterapkan dengan menggunakan 3 pengukuran jarak dari sensor kinect sebagai input untuk menghasilkan sudut dari objek, menentukan arah pergerakan robot, dan menghasilkan kecepatan referensi yang diharapkan robot. Pada hasil penelitian ini menggunakan metode mamdani yang mengandung 7,18,3 *rules*. Hasil penelitian ini sudah diuji dengan simulator MATLAB dan menunjukkan hasil yang baik.

Pada penelitian ini, kami menggunakan *fuzzy logic* sebagai sistem kontrol robot penghindar hambatan pada kondisi keadaan di dalam ruangan atau *indoor*. Sensor yang digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang robot terhadap lingkungannya adalah sensor yang terdapat pada sensor kinect, yaitu *3D Depth Sensors*. *3D Depth Sensors* pada kinect digunakan tidak hanya untuk menganalisis objek 3D di depannya, tetapi juga digunakan untuk mendapatkan jarak dengan objek yang jauh berada di depan robot dan mengetahui sudut robot tersebut terhadap suatu objek[3]. Sebagai *feedback* digunakan sensor *rotary encoder*, sensor ini berfungsi untuk mengkoreksi dan memperbaiki jalannya robot agar tetap pada *setpoint*. Hasil atau keluaran dari sistem *fuzzy logic* yang kami buat berupa kecepatan motor DC kanan dan motor DC kiri. Pada sistem *fuzzy logic* ini menggunakan metode Sugeno dengan jumlah 25 *rule*. Pada bagian 2 akan dijelaskan tentang perancangan sistem yang terdiri dari Kinematika *mobile robot*, dan perancangan sistem *fuzzy logic*, pengujian sistem dan analisis terdapat pada bagian 3, sedangkan pada bagian 4 terdapat kesimpulan hasil penelitian yang sudah dibuat.

2. Perancangan Sistem

Pada sistem ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Sistem menggunakan sensor Kinect yang digunakan sebagai piranti masukan (*input*) untuk mendeteksi objek. Sebagai prosesor atau otak dari robot, digunakan mikrokontroler berjenis ATMega128. Pada sisi keluaran (*output*) sistem, terdiri dari dua *H-Bridge motor driver* yang masing – masing terhubung ke motor sebagai penggerak dengan jenis *Geared motor DC*. Pada sisi keluaran motor DC terhubung dengan sensor *rotary encoder* sebagai *feedback* atau umpan balik terhadap masukan, sehingga robot bisa memperbaiki posisinya sesuai masukan. Diagram blok perangkat sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 1.

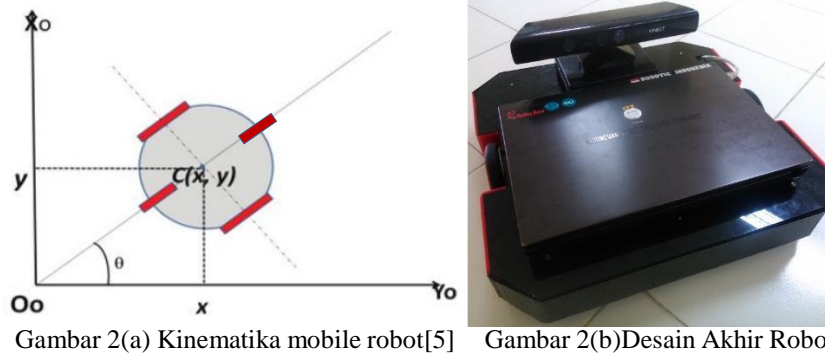


Gambar 1 Blok Diagram Sistem

2.1 Kinematika Mobile Robot

Mobile robot yang dimaksud disini adalah *mobile robot* yang memiliki dua buah roda aktif penggerak yaitu roda kiri dan roda kanan yang dikendalikan terpisah (*Differentially Driven Mobile Robot*) atau disebut DDMR[9].

Dua roda aktif diletakkan pada bagian tengah robot pada sumbu yang sama dan untuk menyeimbangkan robot, diletakkan dua roda pasif dibagian paling depan dan paling belakang robot[5]. Kinematika mobile robot ini digambarkan pada gambar 2(a). Desain akhir robot ditunjukkan oleh gambar 2(b) dengan ukuran robot 40cmx40cm dan berat 5,8 kg.



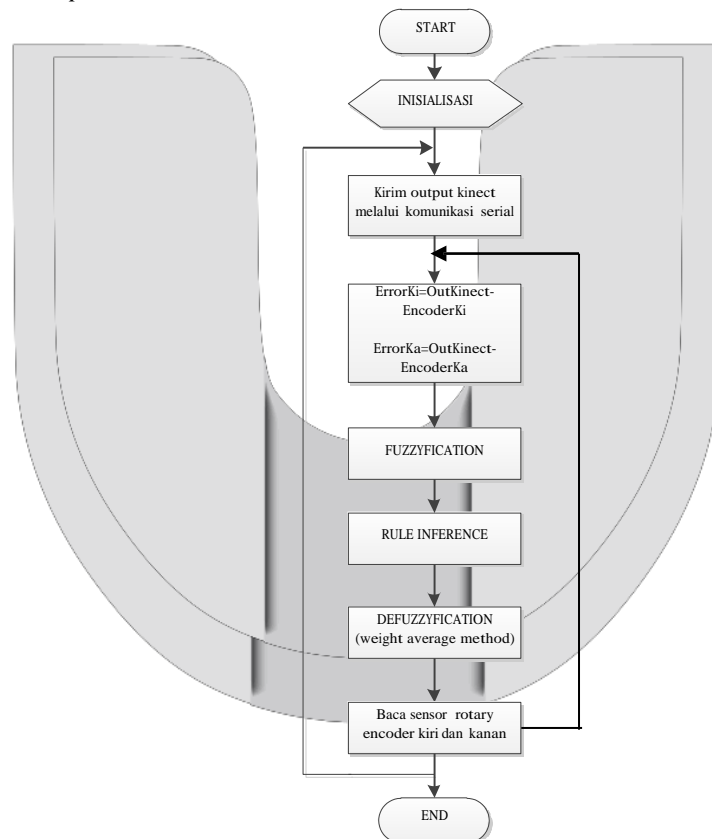
Gambar 2(a) Kinematika mobile robot[5] Gambar 2(b)Desain Akhir Robot

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos(\theta) \\ \dot{y} = v \sin(\theta) \\ \dot{\theta} = \omega \end{cases} \quad (1)$$

Koordinat posisi robot direpresentasikan oleh sumbu x dan y, sedangkan θ adalah orientasi robot pada arah positif sumbu-x, v adalah kecepatan linier, dan ω adalah kecepatan sudut[8].

2.2 Perancangan Fuzzy Logic

Metode kontrol yang diterapkan pada robot ini menggunakan *fuzzy logic*. Pada sistem ini perangkat sensor kinect digunakan sebagai *input* yang setelah diolah nantinya *input* tersebut digunakan *setpoint* arah robot untuk bergerak. Selisih nilai dari *setpoint* dengan sensor rotary encoder menghasilkan nilai *error* yang akan digunakan sebagai *input fuzzy logic*. *Output* dari sistem ini berupa nilai PWM untuk mengatur kecepatan motor DC agar tetap bergerak di *setpoint* sesuai *input*.



Gambar 3 Flowchart Fuzzy Logic

2.3 Fuzzyfication

Pada tahap ini terjadi perubahan nilai derajat dari keluaran error sensor encoder menjadi variabel linguistik yang ditentukan menggunakan fungsi keanggotaan. Untuk menghasilkan keputusan yang akurat, langkah awal dalam fuzzifikasi adalah membuat fungsi keanggotaan dari setiap masukan sistem serta

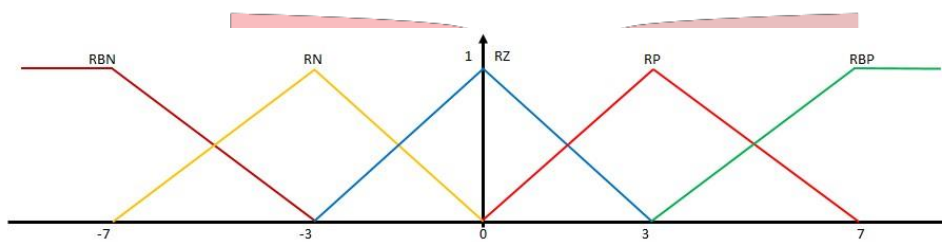
menentukan variabel linguistik di dalam fungsi keanggotaan yang akan dibuat. Perancangan sistem *fuzzy* pada robot ini memiliki dua fungsi keanggotaan yaitu *error rotary encoder* kiri dan *error rotary encoder* kanan. Nilai *error* pada sistem diperoleh melalui persamaan dibawah ini.

$$\text{Error} = \text{SP} - \text{PV} \dots\dots\dots (2)$$

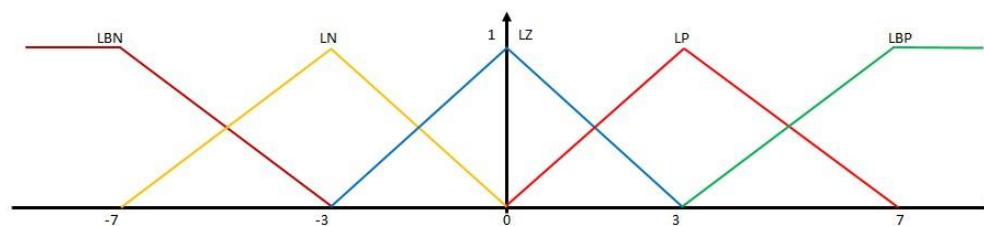
Keterangan :

- SP : (*set point*) nilai acuan rotary encoder yang diinginkan
- PV: (*present value*) nilai aktual pembacaan rotary encoder

Pada sistem ini terdapat dua buah masukan yaitu dari sensor *rotary encoder* kanan dan *rotary encoder* kiri. Masukan dari sensor *rotary encoder* kiri mempunyai 5 variabel linguistik, yaitu *Left Big Negative* (LBN), *Left Negative*(LN), *Left Zero* (LZ), *Left Positive* (LP), dan *Left Big Positive* (LBP). Sedangkan sensor *rotary encoder* kanan mempunyai 5 variabel linguistik, yaitu *Right Big Negative* (RBN), *Right Negative*(RN), *Right Zero* (RZ), *Right Positive* (RP), dan *Right Big Positive* (RBP). Dengan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dan fungsi keanggotaan trapesium, fungsi keanggotaan dari *output* sensor kinect ditunjukkan oleh gambar dibawah ini



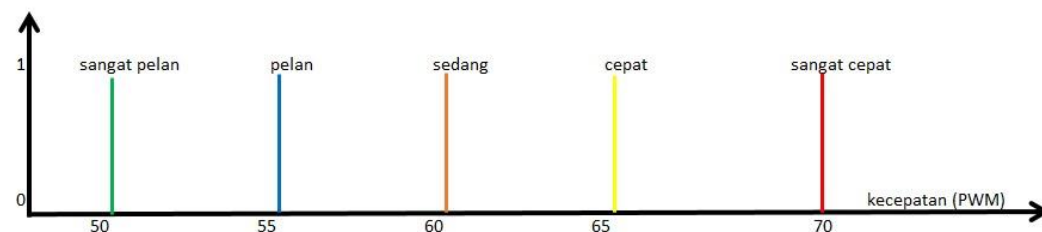
Gambar 4 Fungsi keanggotaan error sensor encoder kanan



Gambar 5 Fungsi keanggotaan error sensor encoder kiri

Pada sistem ini menggunakan model fungsi keanggotaan model Sugeno, karena fungsi keanggotaannya lebih sederhana yang berbentuk *singleton*. *Singleton* yaitu fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada pada suatu *crisp* tunggal dan 0 pada semua nilai *crisp* yang lain. Pada sistem ini didefinisikan fungsi *singleton* untuk menentukan keluaran sistem.

Keluaran pada sistem ini berupa kecepatan motor DC kanan dan kecepatan motor DC kiri. Keluaran pada sistem ini mempunyai lima variabel linguistik, yaitu SANGATPELAN, PELAN, SEDANG, CEPAT, SANGAT CEPAT.



Gambar 6 Fungsi keanggotaan *singleton* untuk keluaran motor DC kiri dan motor DC kanan

2.4 Rule Inference

Pada *rule inference* terjadi proses pengubahan *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara mengikuti aturan-aturan (*IF-THEN rules*) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan *fuzzy*. Aturan-aturan pada sistem ini ditunjukkan oleh tabel 1. Dari aturan-aturan yang dibuat inilah yang akan menentukan respon sistem terhadap berbagai kondisi berdasarkan *input* dari sensor.

Tabel 1 Aturan-aturan *fuzzy logic*

Rule	Encoder Kiri	Encoder Kanan	Motor Kiri	Motor Kanan
1	LBN	RBN	SP	SP
2	LBN	RN	SP	SP
3	LBN	RZ	SP	S
4	LBN	RP	SP	C
5	LBN	RBP	SP	SC
6	LN	RBN	P	SP
7	LN	RN	P	P
8	LN	RZ	P	P
9	LN	RP	P	P
10	LN	RBP	P	S
11	LZ	RBN	S	SP
12	LZ	RN	S	P
13	LZ	RZ	S	S
14	LZ	RP	S	C
15	LZ	RBP	S	SC
16	LP	RBN	C	SP
17	LP	RN	C	P
18	LP	RZ	C	S
19	LP	RP	C	C
20	LP	RBP	C	SC
21	LBP	RBN	SC	SP
22	LBP	RN	SC	P
23	LBP	RZ	SC	S
24	LBP	RP	SC	C
25	LBP	RBP	SC	SC

2.5 Defuzzyfication

Langkah terakhir adalah *defuzzyfication* yaitu mengubah *output fuzzy* yang diperoleh dari aturan *fuzzy* menjadi nilai tegas. Pada sistem ini untuk melakukan defuzzyfikasi menggunakan metode *weight average* dengan *output* dari proses defuzzyfikasi berupa nilai PWM yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor DC.

$$y^* = \sum \frac{\mu(y)y}{\mu(y)}, \tag{3}$$

3. Pengujian Sistem dan Analisis

3.1 Pengujian Kecepatan PWM dengan Kecepatan Linier

Pada sistem ini diketahui kecepatan motor DC adalah 350 rpm dengan jari-jari roda adalah 5 cm atau 0,05 m.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kecepatan PWM dengan Kecepatan Linier

PWM Input	RPM Out	Periode	2 * π * r	Perhitungan	Pengujian	Error	% error
				Kec Linier(cm/s)	Kec Linier (cm/s)		
50	62	2,943	0,314	32,447	34,397	1,95	7,09
100	130	0,595	0,314	68,033	70,933	2,9	5,18
150	210	0,331	0,314	109,9	113,75	3,85	4,56
200	269	0,229	0,314	140,777	146,577	5,8	5,18
255	350	0,171	0,314	183,167	187,867	4,7	3,23

Berdasarkan tabel hasil pengujian diatas dapat dilihat bahwa error dalam pengujian ini adalah sebesar 5%. Hal ini diakibatkan oleh perhitungan kecepatan linier menggunakan persamaan, mengabaikan koefisien gesekan antara roda dengan bidang karena tidak diketahui berapa koefisien gesekannya. Padahal dalam pengujian secara langsung, koefisien gesekan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada hasil pengujian. Adapun masalah lain yang mengakibatkan adanya *error* adalah keterbatasan dalam perhitungan manual, yakni adanya pembulatan nilai dalam perhitungan serta kurangnya ketelitian saat melakukan perhitungan manual.

3.2 Pengujian Fuzzy Logic

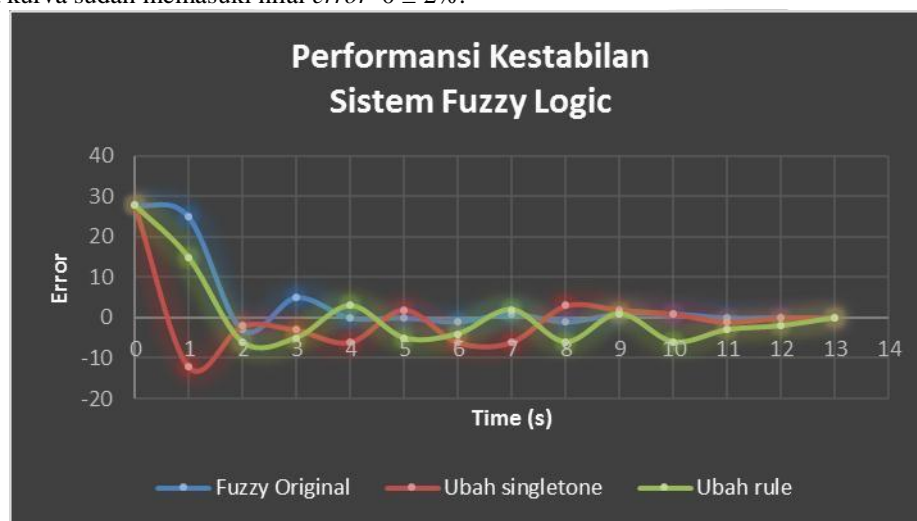
Tabel 3 Data analisis fuzzy logic system

Percobaan	Data Masuk		Hasil Defuzzyfikasi Kiri		Error	Hasil Defuzzyfikasi Kanan		Error
	Error Kiri	Error Kanan	Ouput Sistem	Perhitungan		Ouput Sistem	Perhitungan	
1	-6	-3	46,7	46,6733	0,0267	48,2	48,1561	0,0439
2	-1	1	57,33	57,3033	0,0267	55,5	55,4965	0,0035
3	0	0	60	59,9827	0,0173	55	54,991	0,009
4	-2	2	54,67	54,6622	0,0078	54,75	54,7061	0,0439
5	-7	7	45	45	0	65	65	0

Setelah melihat hasil tabel perbandingan diatas, didapatkan bahwa program *fuzzy logic* yang ditanamkan sesuai dengan apa yang diharapkan. Persentase *error* yang dihasilkan bervariasi, paling kecil adalah 0% dan *error* paling besar sekitar 4%. Serta dari sepuluh pengujian diatas dapat dihitung *error* rata-ratanya adalah 0,1%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem *fuzzy logic* ini berjalan dengan baik, hal itu dapat dilihat dari nilai keluaran sistem yang tidak begitu berbeda dengan nilai perhitungan secara manual.

3.3 Performansi Fuzzy Logic

Pengujian ini dilakukan pada setiap perubahan parameter dengan cara menjalankan robot pada *set point* sensor *encoder* sebesar 28 pulsa. Hal terpenting dalam pengujian ini, digunakan toleransi sebesar 2% dalam menyatakan sistem sudah masuk dalam kondisi *steady state*. Sehingga sistem dikatakan masuk *steady state* apabila kurva sudah memasuki nilai *error* $0 \pm 2\%$.



Gambar 7 Performansi Fuzzy Logic

Perubahan nilai output singleton, ternyata juga memiliki dampak negatif. Respons waktu terhadap kecepatan motor menjadi lebih cepat diakibatkan karena pergeseran nilai variabel linguistik SangatPelan yang sebelumnya bernilai 45, berubah menjadi 55. Nilai linguistik Pelan yang sebelumnya bernilai 50, berubah menjadi 60. Nilai linguistik Sedang yang sebelumnya bernilai 55, berubah menjadi 65. Nilai linguistik Cepat yang sebelumnya bernilai 60, berubah menjadi 70. Nilai linguistik Sangat Cepat yang sebelumnya bernilai 65, berubah menjadi 75.. Hal ini lah yang menyebabkan repon performansi diatas menjadi lebih cepat, karena putaran motor yang juga menjadi lebih cepat. Tetapi pergeseran nilai output *singleton* yang menyebabkan putaran motor menjadi lebih cepat dan membuat sistem membutuhkan waktu yang lama dalam mencapai *steady state*. Hal tersebut karena di dalam sistem terjadi osilasi yang besar yakni *error* sebesar 10, sehingga menyebabkan sistem membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai *steady state*

Pada perubahan *rule* pada sistem *fuzzy logic* respon performansi waktu tunda dari pengujian tidak mengalami perubahan yang signifikan. Pada respon performansi sistem juga mengalami penyimpangan yang cukup besar dari *set point*, yakni *error* sebesar 3. Hal ini dapat terjadi karena adanya beberapa poin *rule* yang diubah, sehingga menyebabkan sistem mengalami keterlambatan mencapai kondisi *steady state* dan

memiliki simpangan yang besar.

4. Kesimpulan

Sistem *fuzzy logic* yang telah dirancang dan ditanamkan pada robot mobil pengikut benda bergerak, telah sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini terlihat dari perhitungan data menggunakan sistem *fuzzy logic* apabila dibandingkan dengan perhitungan data secara manual hanya mempunyai selisih nilai sebesar 0,1 %.

Kecepatan dari proses pengolahan *fuzzy logic* pada sistem robot mobil di pengaruhi oleh banyaknya *rule* yang digunakan oleh sistem untuk mengolah data.

Performansi dari sistem robot mobil penghindar hambatan menggunakan metode *fuzzy logic* dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu besar nilai dan bentuk fungsi keanggotaan masukan sistem dan keluaran sistem serta *rule* yang ditanamkan ke sistem.

Daftar Pustaka :

- [1] Benavidez,Patrick.Jamshidi,Mo.2011.Mobile Robot Navigation and Target Tracking System.New Mexico,USA.IEEE.
- [2] Correa,Diego Santos, Ortiz. Sciotti, Diego, Fernando. Prado, Marcos, Gomes. Sales, Daniel, Oliva. Wolf, Denis, Fernando. Osorio, Fernando, Santos. 2012. Mobile Robots Navigation in Indoor Environments Using Kinect Sensor. Brazil. IEEE..
- [3] Csaba,Gyorgy.2013.Improvement of an Adaptive Fuzzy-Based Obstacle Avoidance algorithm using Virtual and Real Kinect Sensors.Tihanny,Hungary.IEEE.
- [4] Csaba,Gyorgy.Vamosy,Zoltan.2012.Fuzzy Based Obstacle Avoidance for Mobil Robots with Kinect Sensor.Smolenice,Slovakia.4th IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics.
- [5] Faisal,Mohammed.Hedjar,Ramdane.Al Sulaiman,Mansour,Al-Mutib,Khalid.2012.Fuzzy Logic Navigation and Obstacle Avoidance by a Mobile Robot in an Unknown Dynamic Environment.International Journal of Advanced Robotic Systems.
- [6] Li,Xi.Choi,Byung-Jae.2013.Design of Obstacle Avoidance System for Mobile Robot using Fuzzy Logic Systems.International Journal of Smart Home.
- [7] Macknoja,Rizwan.Chavez-Aragon,Alberto.Payeur,Pierre.Laganier,Robert.2013.Calibration of a Network of Kinect Sensors for Robotic Inspection over a Large Workspace.Florida.IEEE.
- [8] Zou, Yuhua. Chen, Weihai. Wu, Xingming. Liu, Zhong. 2012. Indoor Localization and 3d Scene Reconstruction for Mobile Robots Using the Microsoft Kinect Sensor. Beijing, China. IEEE.
- [9] Pitowarno,Endra. 2006. ROBOTIKA: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan. Yogyakarta. Andi.