

PENERAPAN KENDALI *HYBRID* LOGIKA FUZZY- PID UNTUKMENINGKATKAN PERFORMANAVIGASI ROBOT BERODA *WALL FOLLOWER*

Application of Hybrid Fuzzy Logic - PID Control To Improve Navigation
Performance of Wall Follower Wheeled Robot

Utis Sutisna*, Wahyu Diputra Siregar, Siswanto Nurhadiyono

¹Program Studi Teknik Elektro
Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto
Jl. Semangir No.1 Purwokerto 53134
Telp. (0281) 632870, 626266
²email : t155n4@gmail.com

ABSTRAK

Masalah yang biasa muncul dalam navigasi robot beroda dengan sistem kendali PID adalah performa yang tidak bisa menyesuaikan dengan kondisi medan yang dihadapi. Oleh karena itu, perlu adanya modifikasi pada sistem kendali. Dalam penelitian ini dirancang sistem kendali *hybrid* logika fuzzy-PID untuk mengendalikan navigasi pada robot *wall follower*. Sistem logika fuzzy dirancang untuk mengatur nilai-nilai parameter kendali PID berdasarkan dua masukan, yaitu *error* dan perubahan *error*. Nilai *error* didapat dari selisih antara *set point* jarak yang ditetapkan dengan nilai pembacaan sensor jarak, sedangkan nilai perubahan *error* didapat dari selisih antara *error* sekarang dengan *error* sebelumnya saat robot bernavigasi. Keluaran logika fuzzy akan menentukan nilai konstanta proporsional dan konstanta derivatif pada kendali PID. Hasil pengujian menunjukan bahwa kendali *hybrid* logika fuzzy-PID lebih responsif dan lebih stabil dibandingkan dengan kendali PID murni. Dengan kendali *hybrid* diperoleh penurunan rata-rata waktu tempuh robot secara signifikan terutama pada *duty cycle* yang besar. Sedangkan penurunan rata-rata jumlah benturan diperoleh secara signifikan terutama pada *duty cycle* yang kecil.

Kata kunci : Kendali PID, logika fuzzy, robot beroda *wall follower*

ABSTRACT

Problems that usually appears in wheeled robot navigation using PID control system is the performance that can not adapt to conditions of encountered terrain. Therefore, it is needed to make modification to the control system. The purpose of this research is to design hybrid fuzzy logic-PID controller to control navigation of the wall follower robot. Fuzzy logic system is designed to set the values of PID control parameters based on two inputs, first input is the error and the second is the change of error. The error value is obtained from the difference between the distance set point and the measured value of the distance sensor, whereas the change of error obtained from the difference between the current error and previous error when robots navigate. Fuzzy logic output will set the values of the proportional constant and derivative constant of the PID controller. The test results showed that the hybrid fuzzy logic-PID control is more responsive and more stable than the pure PID control. By applying the hybrid control, decrease in average travel time of the robot is obtained significantly,

especially in high duty cycle. While the decline in the average number of collisions is obtained significantly especially at low duty cycle.

Key-word: PID control, fuzzy logic, wall follower wheeled robot

PENDAHULUAN

Kontroler PID (*Proportional, Integral, Derivative*) merupakan kontroler mekanisme umpan balik (*feedback*) yang banyak dipakai pada sistem kendali konvensional. Kontroler ini secara kontinyu menghitung nilai *error* kemudian mencoba untuk meminimalkan nilai *error* setiap waktu dengan penyetelan variabel kendalinya (Araki, 1991).

Salah satu tujuan penting dalam sistem kendali robot beroda adalah robot dapat bernavigasi dalam berbagai medan atau arena secara stabil. Masalah yang biasanya muncul pada robot yang menggunakan sistem kendali PID dalam hal bernavigasi adalah unjuk kerja robot yang tidak bisa menyesuaikan dengan kondisi medan yang dihadapi karena nilai konstanta K_p , K_i dan K_d bernilai tetap.

Telah ada penelitian yang menerapkan penggabungan sistem logika fuzzy dan PID pada pergerakan *Mobile Robot*, namun hasil yang didapat masih mengalami kegagalan dikarenakan sistem dari metode kendali PID tidak dapat mengolah masukan dari metode logika fuzzy (M. Nasrul Hafidz dkk, 2012).

Penelitian yang menerapkan sistem PID pada robot beroda dengan metode *tuning* PID modifikasi antara metoda Ziegler Nichols II dan *trial and error* memberikan hasil bahwa metode ini dapat diterapkan untuk kecepatan motor DC rendah (Novie Theresia, 2012). Penelitian tentang penerapan sistem kendali logika fuzzy pada navigasi robot menunjukkan hasil adanya kelambatan respon pada saat bernavigasi (Ari Azhar dkk, 2015). Sedangkan, penelitian yang membandingkan sistem PID dan sistem logika fuzzy pada robot beroda menunjukkan hasil bahwa sistem kendali PID lebih responsif (Reza Nandika, 2012).

Mengacu pada beberapa penelitian sebagaimana disebutkan di atas, dilakukan penelitian untuk mengkaji penerapan kendali *hybrid* logika fuzzy-PID untuk meningkatkan performa navigasi robot beroda *wall follower*. Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun robot beroda dengan menggunakan mikrokontroler sebagai kontrolernya, sensor

ultrasonik untuk mengukur jarak terhadap dinding, serta komponen pendukung lainnya.

Penelitian ini juga membandingkan antara performarobot dengan kendali PID dan performa dengan kendali *hybrid* logika fuzzy-PID dimana akan ditunjukkan hasil pengujian berupa waktu tempuh dan jumlah benturan yang terjadi pada saat robot bernavigasi.

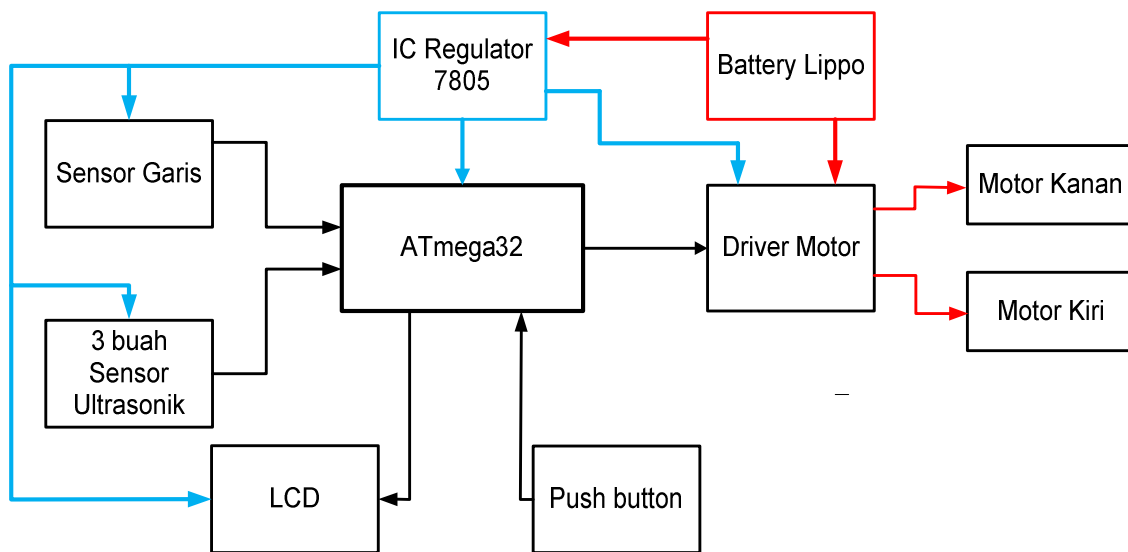
BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Perancangan dan pembuatan robot ini terdiri dari dua bagian, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

Bahan atau materi yang digunakan untuk membuat robot dengan kendali *hybrid* ini adalah sistem minimum ATmega32, sensor ultrasonik HYRF05, sensor garis, driver motor DC, LCD, *push button*, regulator tegangan dan komponen pendukung lainnya.

Sebagaimana ditunjukkan dalam diagram blok sistem pada Gambar 1, mikrokontroler Atmega32 adalah sebagai kontroler yang melakukan pengendalian pada robot. Tiga buah sensor ultrasonik HYRF05 memberikan masukan pembacaan jarak terhadap dinding. Sensor garis (sensor warna) memberikan informasi posisi titik awal dan titik akhir navigasi robot. Empat buah *push button* digunakan untuk memberikan nilai-nilai yang *disetting* pada robot. LCD digunakan sebagai tampilan data-data berupa jarak, parameter PID, kecepatan, serta mode susur dan sistem kendali yang digunakan. Dua buah motor DC beserta *drivernya* digunakan sebagai penggerak robot (*actuator*). Semua bagian/blok pada Gambar 1 dicatu dengan tegangan 5 volt (garis biru), kecuali motor DC yang dicatu dengan tegangan 12 volt (garis merah).

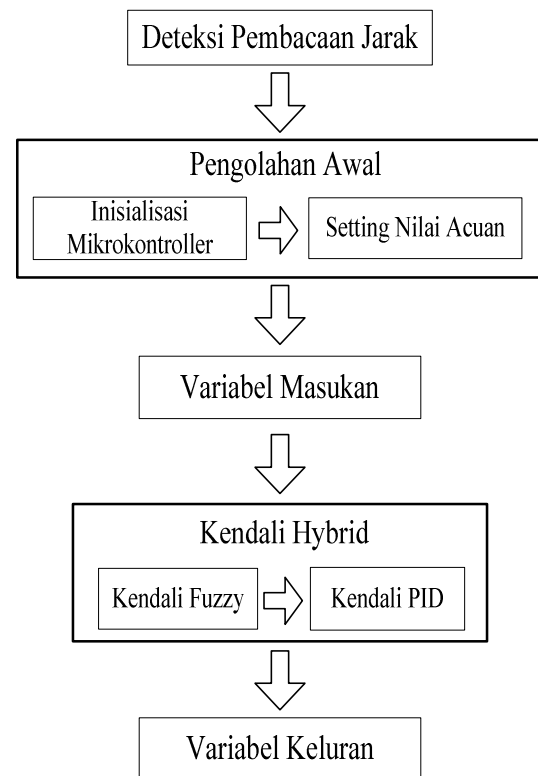
Perangkat keras robot beroda *wall follower* yang dirancang diperlihatkan dalam Gambar 2



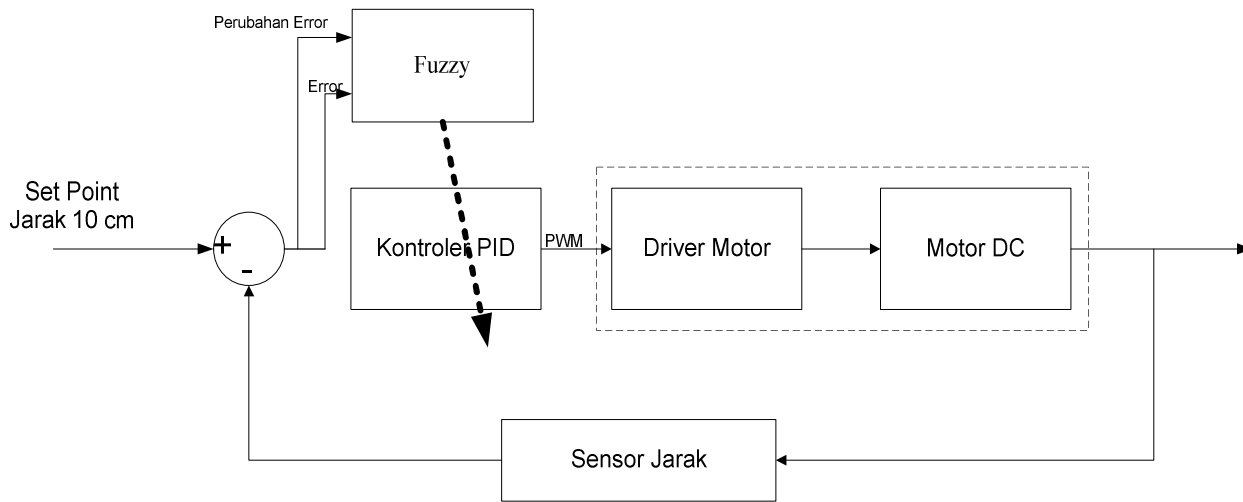
Gambar 1. Diagram blok sistem



Gambar 2. Robotberoda *wall follower*



Gambar 3. Diagram alir sistem kendali hybrid logika fuzzy-PID



Gambar 4. Diagram blok sistem kendali *hybrid*

Gambar 3 memperlihatkan diagram alir sistem. Diagram alir inimenunjukkanproses yang terjadi dalam sistem yang terdiri dari pembacaan sensor jarak, pengolahan awal, variabel masukan, kendali *hybrid* dan variabel keluaran.

A. Pembacaan Jarak

Sensor jarak yang digunakan adalah sensor ultrasonik HY-SRF05. Pembacaan sensor jarak menggunakan 2 jalur data yaitu data *trigger* dan data *ehco*. Pembacaan sensor jarak bekerja secara terpisah karena bagian pengirim dan penerima bekerja secara masing-masing.Sensor ultrasonik ini digunakan sebagai navigasi robot pada arena yang dibuat, dan dapat mengukur jarak benda yang ada dihadapannya. Sensor ini memiliki kemampuan membaca jarak dari mulai 3 centimeter sampai dengan 3 meter. Sensor ini menyediakan sebuah pulsa penguat *echo* untuk jarak, jika lebar pulsa berukuran mikro detik, maka jarak satu centimeter memberikan waktu perhitungan 58 μ s yang dibagi dua untuk waktu mengirim dan menerima gelombang.Sensor ini dipasang disisi depan, kanan, dan kiri robot agar dapat mengukur jarak disetiap sisinya.

B. Pengolahan Awal

Tahap pengolahan masukan meliputi inisialisasi awal mikrokontroler dan *setting* nilai acuan.

Inisialisasi fitur mikrokontroler yang digunakan yaitu inisialisasi port dan *timer*.Pin atau port mikrokontroler digunakan sebagai masukan, keluaran, atau penggunaan secara khusus seperti membangkitkan PWM(*pulse wide modulation*) dengan *timer*.

Setting nilai acuan digunakan untuk memberikan nilai-nilai parameter dari robot seperti *set point* jarak, parameter PID dan kecepatan yang diinginkan. Semua nilai tersebut akan disimpan pada *eeeprom* mikrokontroler.

C. Variabel Masukan

Dalam sistem navigasi pada robot ini variabel masukan yang digunakan berupa nilai *error* dan perubahan *error*.

Nilai *error* merupakan nilai yang didapat dari selisih antara *setpoint* jarak yang ditetapkan(sebesar 10 centimeter) dengan nilai pembacaan sensor jarak.

$$Error = Set\ point - Variabel\ terukur \quad (1)$$

Nilai perubahan *error(Derror)* merupakan nilai yang didapat dari selisih antara *error* sekarang dengan *error* sebelumnya saat robot bernavigasi.

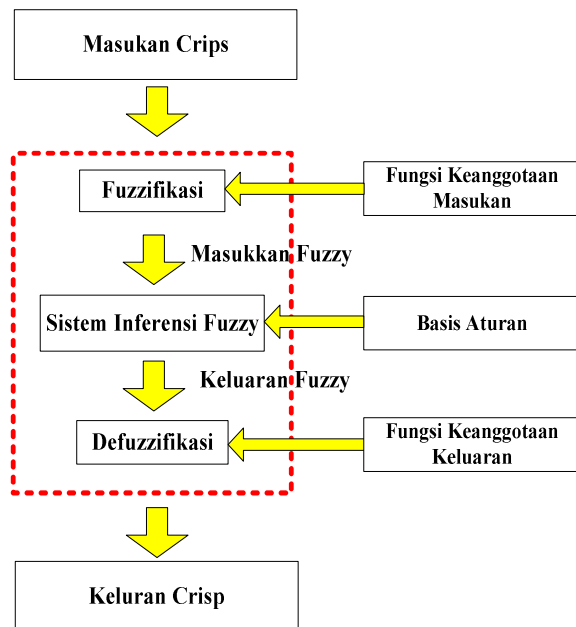
$$Derror = Error_n - Error_{n-1} \quad (2)$$

D. Sistem Kendali *Hybrid*

Dalam penelitian ini dirancangalgoritma kendali *hybrid* logika fuzzy-PID untuk mengendalikan navigasi pada robot *wall follower* dimana 2 dari 3 nilai parameter PID, yaitu konstanta proporsionalKp dan konstanta derivatifKd, akan diatur secara kontinyu oleh sistem logika fuzzy (Gambar 4).

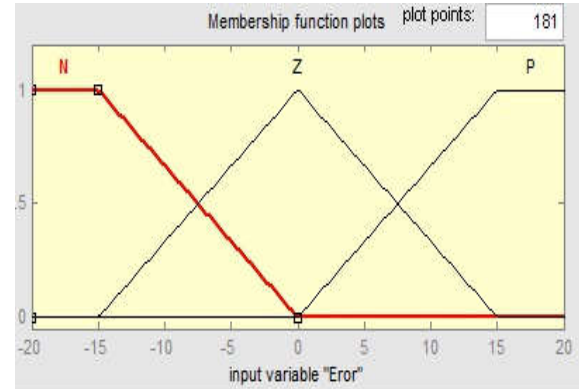
Sistem logika fuzzy pada sistem ini akanmenentukan nilai Kp dan Kd saja, sehingga untuk nilai acuan Ki dibuat tetap sebesar satu atau nol.

Secara umum, seperti ditunjukkan pada Gambar 5, struktur dasar logika fuzzy terdiri dari beberapa tahapan, yaitu fuzzifikasi, sistem inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi (Kusumadewi, 2006).

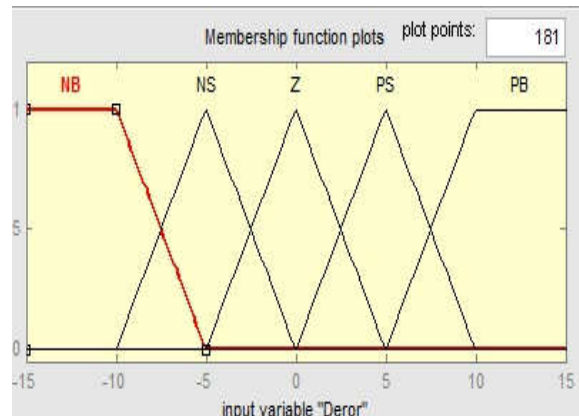


Gambar 5. Tahapan sistem logika fuzzy

Pada proses fuzzifikasi, variabel *error* didefinisikan dalam tiga himpunan fuzzy yaitu Negatif, Zero dan Positif. Sedangkan Variabel perubahan *error* (*Derror*) didefinisikan dalam 5 himpunan fuzzy yaitu NB (Negatif Besar), NS (Negatif *Small*), Zero, PS (Positif *Small*) dan PB (Positif Besar).Fungsi keanggotaan untuk variabel *error* dan perubahan *error* diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan variabel *error*



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Variabel *Derror*

Setelah nilai tegas berubah menjadi nilai fuzzy melalui proses fuzzifikasi,tahap selajutnya adalah sistem inferensi fuzzy.Sistem inferensi fuzzy disini menggunakan metode *Sugenoorde nol*.Ada 30 basis aturan yang dibuat untuk mengendalikan keluaran fuzzy untuk nilai konstanta proporsional dan derivatif. Aturan fuzzy ditujukan pada Tabel 1dan Tabel 2.

Tabel 1. Basis aturan fuzzy konstanta porposionalKp

Derror Error	NB	NS	Z	PS	PB
N	SK	SK	SK	K	K
Z	K	K	K	S	S
P	B	B	B	SB	SB

Tabel 2. Basis aturan fuzzy konstanta derivatifKd

Error Error	NB	NS	Z	PS	PB
N	K	S	B	SK	K
Z	S	B	SB	S	S
P	K	S	B	K	K

Keterangan:

SK= Sangat Kecil

B = Besar

K = Kecil

SB= Sangat Besar

S = Sedang

Proses selanjutnya adalah defuzzifikasi yang bertujuan mengubah keluaran fuzzy menjadi suatu keluaran *crisp* yang menyatakan perubahan nilai konstanta proporsionalKp dan konstanta derivatifKdpadakendali PID. Metode yang digunakan ialah *Weigth Average*. Metode ini mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan, dengan persamaan:

$$z = \frac{\sum \mu(n)z_n}{\mu(n)} \quad (3)$$

Dimana z adalah nilai *crisp* dan $\mu(n)$ adalah derajat keanggotaan dari nilai *crisp* n, sedangkan z_n adalah nilai hasil inferensi pada derajat keanggotaan.

E. Variabel Keluaran

Mikrokontroler akanmengatur *supply* tegangan yang masuk ke motor DC berupa sinyal PWM (*pulse wide modulation*) sehingga robot akan bernavigasi pada arena dengan mempertahankan nilai *set point* jarak yang diberikan.

Sinyal PWM yang dihasilkan pada kendali PID adalah sebagai berikut.

$$MV = ((K_p \text{ Error}) + (K_i \text{ Derror } Ts) + (K_d \text{ Deror}/Ts)) \quad (4)$$

MV adalah keluaran berupa sinyal PWM, Ts adalahtime *sampling* pada sistem, sedangkan Kp,Ki dan Kd berturut-turut adalah konstanta proporsional, konstanta integral dan konstanta dervatif.

F. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan menjalankan robot di arena yang dibuat berbentuk siku seperti diperlihatkan pada

Gambar 8. Jarak dari posisi *start* sampai ke *finish*sejauh 2 meter.



Gambar 8. Arena pengujian robot wall follower

Pengujianrobot dilakukan untuk dua sistem kendali yang dibuat, yaitu PID dan *hybrid*logika fuzzy-PID. Masing-masing kendali tersebut diberi nilai *duty cycle* 30%,50%,75% dan 90%.Masing-masing*duty cycle* pada kendali PID dan kendali *hybrid*tersebut diujikan sebanyak 10 kali untuk susur kiri dan 10 kali untuk susur kanan. Data yang diambil berupa waktu tempuh robot dan jumlah benturan robot terhadap dinding pada pengujian gerakrobot mulai dari titik *start* sampai ke *finish*, kemudian dihitung rata-ratanya masing-masing.Selanjutnya, dihitung tingkatpenurunan rata-rata waktu tempuhdantingkat penurunan rata-rata jumlah benturan dengan persamaan berikut:

$$TPWT = \frac{WT_{PID} - WT_{Hybrid}}{WT_{PID}} \times 100\% \quad (5)$$

$$TPJB = \frac{JB_{PID} - JB_{Hybrid}}{JB_{PID}} \times 100\% \quad (6)$$

TPWT adalah tingkat penurunan rata-rata waktu tempuh, WT_{PID} rata-rata waktu tempuh dengan kendali PID, WT_{Hybrid} rata-rata waktu tempuh dengan kendali *hybrid*. *TPJB* adalah tingkat penurunan rata-rata jumlah benturan, JB_{PID} rata-rata jumlah benturan dengan kendali PID, JB_{Hybrid} rata-rata jumlah benturan dengan kendali *hybrid*,

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam Tabel 3 dan 4 diperlihatkan salah satu hasil pengujian gerak robot, yaitu untuk *duty cycle 50%*. Tabel 3 untuk kendali PID, sedangkan Tabel 4 untuk kendali *hybrid*.

Tabel 3. Hasil pengujian *duty cycle 50%* dengan kendali PID

Pengujian ke-	Waktu (detik)		Jumlah Benturan (kali)	
	Susur kanan	Susur kiri	Susur kanan	Susur kiri
1	8.68	8.87	-	1
2	7.53	7.79	1	-
3	8.54	8.67	-	1
4	7.15	7.52	1	1
5	7.68	8.02	1	1
6	6.78	7.45	1	-
7	7.85	7.54	1	-
8	7.76	7.89	-	1
9	7.19	7.34	-	-
10	7.22	7.47	-	-
Rata - Rata	7,75		0,5	

Tabel 4. Hasil pengujian untuk *duty cycle 50%* dengan kendali *hybrid*

Pengujian ke-	Waktu (detik)		Jumlah Benturan (kali)	
	Susur kanan	Susur kiri	Susur kanan	Susur kiri
1	7.38	7.21	-	-
2	7.3	7.35	-	-
3	7.22	7.54	-	-
4	7.61	7.17	-	-
5	7.25	7.42	-	-
6	7.49	7.23	-	-
7	8.05	7.67	1	-
8	7.27	7.76	-	-
9	6.8	7.16	-	-
10	7.1	7.12	-	-
Rata - Rata	7,5		0,05	

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 dapat diketahui bahwa kendali *hybrid* logika fuzzy-PID yang diterapkan pada sistem gerak robot *wall follower* memberikan hasil waktu tempuh yang lebih cepat dan jumlah benturan yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem kendali PID. Waktu tempuh rata-rata dengan kendali PID adalah

7,75 detik, sedangkan dengan kendali *hybrid* adalah 7,5 detik. Jumlah benturan rata-rata untuk kendali PID adalah 0,5 kali, sedangkan untuk kendali *hybrid* adalah 0,05 kali.

Tabel 5 memperlihatkan hasil pengujian dengan *duty cycle* 30%, 50%, 75% dan 90% untuk kendali PID dan kendali *hybrid*. Secara umum, dari data hasil pengujian ini diketahui bahwa semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan, baik pada kendali PID maupun kendali *hybrid*, menjadikan waktu tempuh robot semakin cepat. Hal ini terjadi karena nilai *duty cycle* yang semakin besar berakibat pada semakin besarnya nilai tegangan yang diberikan kepada motor dc yang menggerakkan roda robot. Seperti diketahui bahwa besarnya kecepatan motor dc berbanding langsung dengan besarnya tegangan dc yang dicatukan kepadanya. Namun demikian, peningkatan kecepatan robot ini berdampak pada penambahan jumlah benturan robot terhadap dinding.

Tabel 5. Hasil pengujian untuk *duty cycle 30%, 50%, 75% dan 90%*

Duty Cycle (%)	Rata-Rata Waktu Tempuh pada 10x Pengujian (detik)				Total Jumlah Benturan (Kali)	
	Susur Kanan		Susur Kiri		PID	Hybrid
	PID	Hybrid	PID	Hybrid		
30	11.339	10.633	11.31	10.869	5	-
50	7.638	7.347	7.856	7.363	10	1
75	6.753	6.487	6.892	6.319	14	12
90	6.282	5.41	6.359	5.357	29	24

Dari Tabel 5 juga dapat diketahui bahwa penggunaan kendali *hybrid* logika fuzzy-PID memberikan hasil yang lebih baik daripada kendali PID, yaitu adanya penurunan waktu tempuh robot dan penurunan jumlah benturan dengan dinding. Hal ini sebagai dampak dari adanya peran logika fuzzy yang selalu memberikan aksi penyesuaian pada nilai Kp dan Kd berdasarkan nilai *error* dan perubahan *error* yang terjadi secara kontinyu.

Pada Tabel 6 diperlihatkan rata-rata waktu tempuh robot pada pengujian dengan nilai *duty cycle* 30%, 50%, 75% dan 90%, beserta tingkat penurunan rata-rata waktu tempuhnya. Sementara, untuk rata-rata jumlah benturan dan tingkat penurunannya ditunjukkan pada Tabel 7.

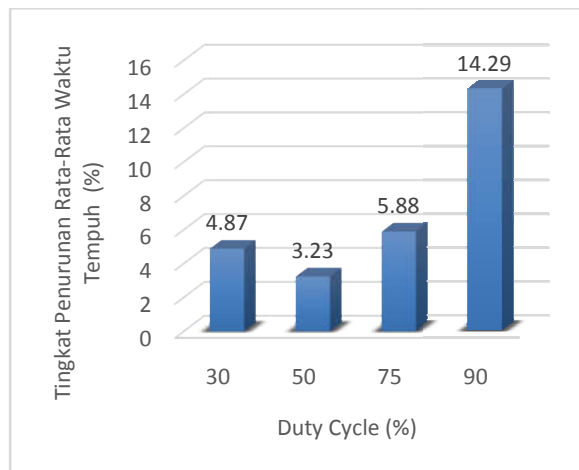
Tabel 6. Tingkat penurunanrata-rata waktu tempuhberdasarkan *duty cycle*

No.	<i>DutyCycl</i> e (%)	Rata-Rata Waktu Tempuh (detik)		TingkatPenuru nan Rata-Rata Waktu Tempuh (%)
		PID	<i>Hybrid</i>	
1	30	11.3	10.75	4,87
2	50	7.75	7.5	3,23
3	75	6.8	6.4	5,88
4	90	6.3	5.4	14,29

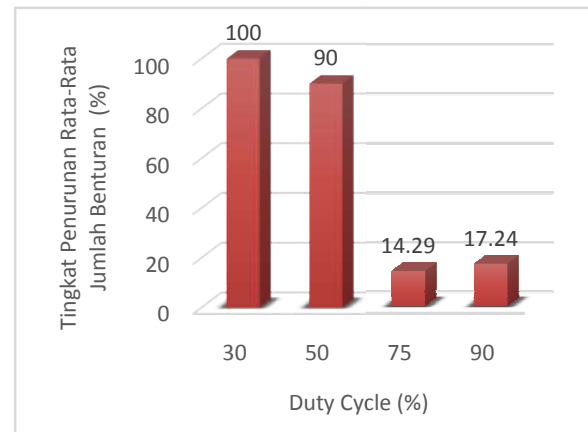
Tabel 7. Tingkatpenurunan rata-rata jumlah benturan berdasarkan *duty cycle*

No.	<i>DutyCycl</i> e (%)	Rata-Rata Jumlah Benturan (kali)		TingkatPenuruna n Rata-Rata Jumlah Benturan (%)
		PID	<i>Hybrid</i>	
1	30	0.25	-	100
2	50	0.5	0.05	90
3	75	0.7	0.6	14,29
4	90	1.45	1.2	17,24

Selanjutnya, pada Gambar 9 dan 10 diperlihatkan grafik tingkat penurunan rata-rata waktu tempuh berdasarkan *duty cycle* dan grafik tingkat penurunan rata-rata jumlah benturan berdasarkan *duty cycle*.



Gambar 9. Grafik tingkat penurunan rata-rata waktu tempuh berdasarkan *duty cycle*



Gambar 10. Grafik tingkat penurunan rata-rata jumlah benturan berdasarkan *duty cycle*

Dari data-data pada Tabel 6 dan 7 serta grafik pada Gambar 9 dan 10 dapat diketahui bahwa penerapan kendali *hybrid* logika fuzzy-PID dalam menggantikan kendali PID menghasilkan penurunan rata-rata waktu tempuh robot secara signifikan terutama pada *duty cycle* yang besar. Dalam hal ini, pengujian dengan *duty cycle* 90% memberikan hasil tingkat penurunan rata-rata waktu tempuh sebesar 14,29%. Selain itu, penerapan kendali *hybrid* ini menghasilkan penurunan rata-rata jumlah benturan secara signifikan terutama pada *duty cycle* yang kecil. Pengujian dengan *duty cycle* 30% memberikan hasil tingkat penurunan rata-rata jumlah benturan sebesar 100%. Pada pengujian dengan kendali *hybrid* pada *duty cycle* 30% ini, robot tidak mengalami benturan dengan dinding.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali *hybrid* logika fuzzy-PID berhasil diterapkan pada sistem gerak robot *wall follower* dengan pergerakan yang lebih responsif dan stabil dibandingkan dengan penggunaan sistem kendali PID murni. Hal ini dikarenakan keluaran nilai K_p dan K_d diatur secara *real time* berdasarkan nilai *error* dan perubahan *error* yang terjadi saat bernavigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Araki, M., 1991, *Control Systems, Robotics, and Automation*, Vol 2, PID Control, Japan.
- Azhar, A., Kesuma W., K.D. dan Subagiyo, H., 2015, *Perancangan Fuzzy Logic Model Sugeno untuk Wall Tracking pada Robot Pemadam Api*, Vol 1, No.1, Jurnal Elementer, Riau.
- Hafidz, M.N., Mas'ud, M.F.I., Wibowo, M.C. dan Harianto., 2012, *Kendali PID dan Logika Fuzzy Untuk Optimalisasi Pergerakan Mobile Robot*, STIKOM Surabaya, Surabaya.
- Kusumadewi, S. dan Hartati, S., 2006, *Neuro fuzzy Integrasi sistem fuzzy dan jaringan syaraf*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Nandika, R., 2012, *Impementasi Sensor Ultrasonik Pada Robot Pengikut Objek Dengan Kontrol Logika Fuzzy*, Universitas Riau, Batam.
- Pasaribu, N.T.Br. dan Sartika, E.M., 2012, *Wheeled Robot Based For Indonesian Interlligent Robot Contest*, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.