

IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY DALAM KONTROL POSISI KEDALAMAN PADA REMOTELY OPERATED UNDERWATER VEHICLE (ROV)

Andrey Wicaksono^{*)}, Sudjadi, and Iwan Setiawan

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)E-mail: bonifasius.andrey@gmail.com}

Abstrak

Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) merupakan robot bawah air yang memiliki bentuk seperti kapal selam dan dioperasikan menggunakan *remote control*. Permasalahan yang dihadapi terkait pemanfaatan ROV adalah kontrol gerakan vertikal maupun horizontal. ROV memiliki persamaan kinematika dan dinamis yang multivariabel dan tidak linier karena dipengaruhi beberapa faktor lain seperti gangguan yang dihasilkan dari gaya hidrostatis dan hidrodinamis, sehingga sulit untuk dimodelkan. Sehubungan hal tersebut, dalam penelitian ini dipilih *Fuzzy Logic Control (FLC)* dengan metode Sugeno untuk mengontrol gerakan ROV mencapai kedalaman yang diinginkan. Variabel masukan FLC berupa *error* dan $\Delta error$ sedangkan variabel keluarannya adalah sinyal PWM. Sinyal PWM digunakan untuk mengontrol kecepatan motor BLDC vertikal. Pengujian dianalisis berdasarkan parameter tanggapan sistem terhadap *set point* kedalaman dan gangguan. Kinerja dan hasil pengujian FLC dibandingkan kontrol *on-off*. FLC menggunakan 49 rule base, 7 buah keluaran PWM dengan pengaturan 1628,1870,1970,2070,2170 dan 2220 dengan kontrol *on-off* menggunakan keluaran PWM 1620 dan 1800. Didapatkan hasil perbandingan t_r , t_p , t_s , dan t_d FLC masing-masing lebih cepat 0,4 detik, 0,175 detik, 1,78 detik dan 0,31 detik dari kontrol *on-off*. M_p FLC lebih kecil 26,56% dari kontrol *on-off*. Hal tersebut menunjukkan bahwa FLC mampu mencapai, dan mempertahankan kestabilan pada kedalaman yang diinginkan dengan cepat, presisi dan tanpa osilasi.

Kata kunci : Remotely Operated Underwater Vehicle, Kontrol Kedalaman, Kontrol Logika Fuzzy, Sensor Tekanan Air GY-MS5803-14BA

Abstract

Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) is underwater robot that looks like submarine operated by remote control. Problem encountered was vertically or horizontally motion control. ROV has kinematics equations, multivariable dynamic and non-linear that influenced by some factors such as interference generated from hydrostatic and hydrodynamic force, therefore, it is difficult to be modeled. In this study Fuzzy Logic Control (FLC) with Sugeno method for controlling the movement of the ROV is used to reach the desired depth. The input variables are error and $\Delta error$ while the output variable is PWM signal to control the speed of vertical BLDC motor. Tests are analyzed based on parameters of the system in response to the set point and disturbance. Performance and FLC test results compared to on-off control. FLC used 49 rule based, 7 PWM outputs by setting 1628,1870,1970,2070,2170 and 2220 with on-off control using PWM output in 1620 and 1800. It was found that comparison results t_r , t_p , t_s , and t_d of FLC 0,4 seconds, 0,175 seconds, 1,78 seconds and 0,31 seconds respectively faster than on-off control. M_p of FLC is 26,56% smaller than on-off control. It shows that FLC can achieve and maintain the stability of desired depth quickly, precisely and without oscillation.

Keywords : Remotely Operated Underwater Vehicle, Depth Control, Fuzzy Logic Control, Water Pressure Sensor GY-MS5803-14BA

1. Pendahuluan

Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) adalah sebuah robot bawah air yang memiliki bentuk menyerupai

sebuah kapal selam dan dioperasikan dengan menggunakan *remote control* dari jarak jauh. ROV sangat berguna dalam melaksanakan tugas-tugas bawah air [1] terutama perairan yang sangat dalam dan berbahaya

bahkan tidak mungkin dilakukan oleh manusia [2]–[4] seperti eksplorasi sumber hidrotermal, pengawasan dan maintenance pipa bawah laut, konstruksi dan instalasi *marine platform*, eksplorasi dan studi habitat laut serta operasi militer seperti pengintaian dan penyelidikan. ROV memiliki rancangan mekanika yang tidak beraturan serta memiliki persamaan kinematika dan dinamis yang multi variabel dan sangat tidak linier [5]. Ditambah dengan beberapa faktor lain seperti gangguan yang dihasilkan dari gaya hidrostatis dan hidrodinamis terhadap ROV, sehingga sangat sulit untuk dimodelkan [6] dan diperlukan usaha lebih untuk menentukan suatu metode kontrol yang cocok [7]. Simulasi dan aplikasi kontrol pada ROV yang sedang dikembangkan diantaranya untuk mengontrol kestabilan saat *cruising*, kontrol kedalaman, mengatur sudut arah gerakan dan sebagainya [8][9]. Penelitian yang dilakukan oleh Agung Imam [10] tidak dilengkapi dengan kontrol kedalaman sehingga pengguna tidak dapat mengetahui posisi ROV di kedalaman air. Kondisi ini disebabkan karena tidak adanya sensor kedalaman pada ROV yang digunakan. Salah satu parameter yang paling mempengaruhi saat pengontrolan kedalaman adalah tekanan air. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini lebih difokuskan kepada kontrol kedalaman (*depth control*) ROV dengan menggunakan kontrol logika fuzzy (FLC). FLC memiliki keuntungan yaitu dapat diaplikasikan ke dalam sistem tidak linier dimana matematikanya sulit untuk dimodelkan dan kontroler dapat didesain dengan mengaplikasikan aturan heuristik dari pengalaman peneliti [9]. Pengujian dilakukan terhadap *prototype* ROV secara langsung



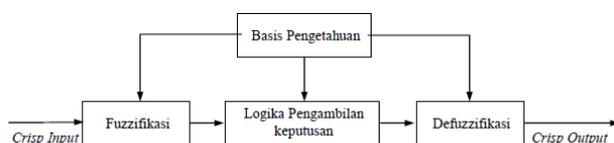
Gambar 1. *Prototype* ROV

dengan diuji berdasarkan kedalaman dan uji terhadap gangguan. Hasil dan analisis percobaan akan dibahas dalam bagian tertentu makalah ini.

2. Metode

2.1. Sistem Logika Fuzzy

Konfigurasi dasar dari sistem logika fuzzy yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 2.

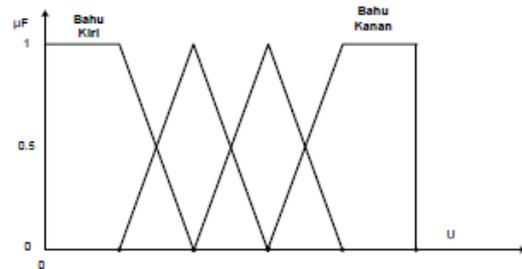


Gambar 2. Konfigurasi dasar sistem logika fuzzy [11]

Konfigurasi sistem logika fuzzy terdapat 4 komponen utama, yaitu unit fuzzifikasi, basis aturan, logika pengambilan keputusan dan unit defuzzifikasi.

2.1.1. Fuzzifikasi

Komponen fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ke dalam himpunan fuzzy menjadi nilai derajat keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi keanggotaan bahu yang merupakan penggabungan antara fungsi keanggotaan bentuk segitiga dan trapesium.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan bentuk bahu [11]

2.1.2. Rule Base

Basis aturan logika fuzzy untuk pengambilan keputusan adalah kumpulan aturan-aturan logika fuzzy yang dibuat berdasarkan pengetahuan manusia dalam menentukan suatu putusan. Metode yang digunakan dalam penentuan aturan fuzzy adalah menggunakan pendekatan heuristik. Pendekatan heuristik menggunakan pengetahuan pakar dan analisis perilaku sistem untuk mendapatkan aturan-aturan fuzzy. Aturan yang ditetapkan digunakan untuk menghubungkan antara variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Aturan ini berbentuk ‘JIKA – MAKA’ (IF – THEN), sebagai contoh adalah :

Aturan i : JIKA x adalah A_i DAN y adalah B_i MAKA z adalah C_i

Dengan :

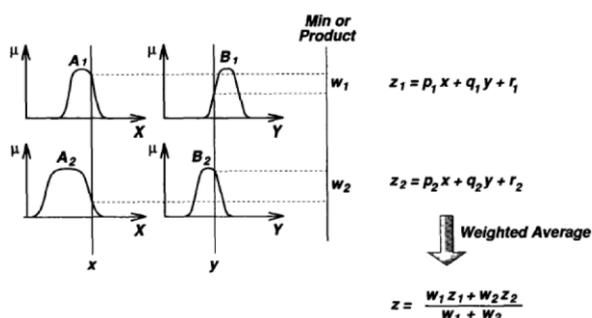
A_i ($i = 1, 2, \dots$) adalah himpunan Fuzzy untuk variabel masukan x .

B_i ($i = 1, 2, \dots$) adalah himpunan Fuzzy untuk variabel masukan y .

C_i ($i = 1, 2, \dots$) adalah himpunan Fuzzy untuk variabel keluaran z .

2.1.3. Logika Pengambilan Keputusan

penyimpulan fuzzy (*fuzzy inference*) mengaplikasikan aturan-aturan fuzzy pada masukan fuzzy kemudian mengevaluasi setiap aturan. Prinsip logika fuzzy digunakan untuk mengkombinasi aturan-aturan JIKA-MAKA (IF-THEN) yang terdapat dalam basis aturan kedalam suatu pemetaan dari suatu himpunan fuzzy input ke suatu himpunan fuzzy output. Gambar 4 menunjukkan inferensi fuzzy model Sugeno



Gambar 4. Inferensi fuzzy model Sugeno [12]

Masukan yang digunakan merupakan himpunan fuzzy sedangkan bagian keluaran merupakan keluaran yang berupa persamaan linier. Fungsi ini didapatkan dari nilai minimum kedua fungsi keanggotaan dengan menggunakan operator AND.

2.1.4. Defuzzifikasi

Masukan dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan keluaran yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut, sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai keluarannya. proses defuzzifikasi metode Sugeno dengan metode *weighted of average* dapat ditulis dalam persamaan 2 [12].

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

Dimana:

wi adalah hasil operasi logika fuzzy

zi adalah hasil keluaran dari rule base

K adalah nilai keluaran defuzzifikasi dengan metode WOA

2.2. Sensor Tekanan Air

GY-MS5803-14BA merupakan sebuah modul (*breakout*) sensor tekanan air. Sensor ini dipilih karena memiliki ketelitian sangat tinggi yaitu mencapai 0,2 mbar. Dioptimalkan untuk sistem pengukuran kedalaman dengan resolusi kedalaman air 1 cm bahkan dibawahnya [13].



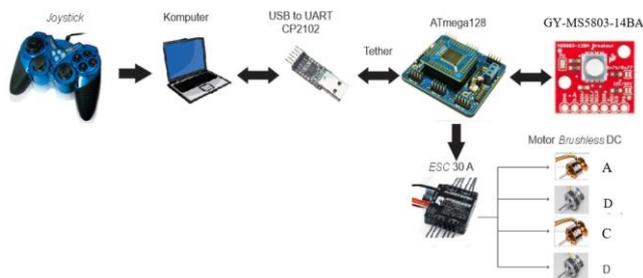
Gambar 5. Modul GY-MS5803-14BA[13]

Sensor ini dilengkapi dengan 2 buah jalur komunikasi yaitu I2C dan SPI. Sensor ini juga dapat mendeteksi perubahan

suhu dengan tingkat presisi yang tinggi seperti termometer digital. Sensor ini bekerja pada rentang 0 mbar – 14 bar. Dengan data kalibrasi dari pabrik sebesar 1000,5 mbar pada suhu 20,5°C [13].

2.3. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan komponen penyusun kontrol kedalam ROV meliputi mikrokontroler ATmega128, modul sensor GY-MS5803-14BA, joystick, driver motor ESC 30A, dan rangkaian catu daya menggunakan baterai. Secara umum perancangan perangkat keras sistem kendali dapat dilihat pada Gambar 6.



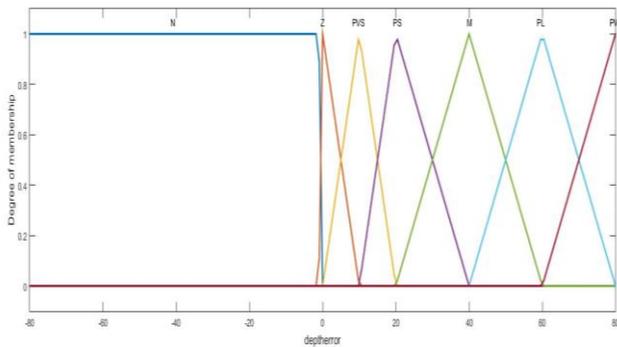
Gambar 6. Ilustrasi perancangan komponen penyusun perangkat keras sistem kendali ROV

Gambar 6 menunjukkan komponen yang digunakan termasuk hubungan antar komponen. Data dari joystick akan diproses di komputer dan dikirimkan melalui tether (kabel) dengan menggunakan komunikasi UART serial (Tx/Rx). Data joystick akan diteruskan oleh komputer menuju ke mikrokontroler ATmega128 sebagai masukan untuk menggerakkan ROV.

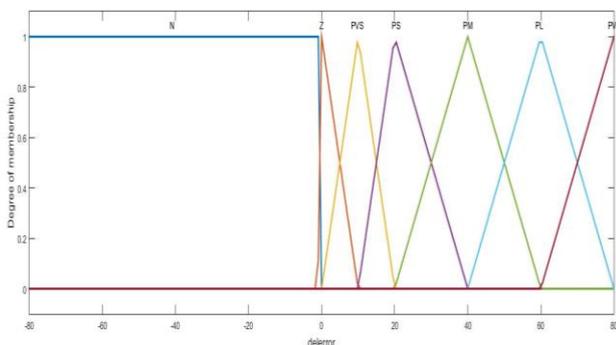
2.4. Perancangan FLC

2.4.1. Fuzzifikasi

Perancangan logika fuzzy ini memiliki dua buah masukan crisp, yaitu error dan Δ error. Fungsi perhitungan pada proses fuzzifikasi menggunakan label *deptherror* dan *delerror* (Δ error). Pada proses ini, dilakukan konversi data dari bentuk tegas (*crisp*) yang berupa *deptherror* dan *delerror* diubah kedalam derajat keanggotaan menjadi variabel-variabel fuzzy pada masing-masing *deptherror* dan *delerror*. Bentuk dari fungsi keanggotaan *deptherror* dan *delerror* adalah bentuk bahu. Jumlah label *deptherror* dan *delerror* terdapat 7 label yaitu N, Z, PVS, PS, PM, PL, PVL. Sedangkan untuk keluaran PWM terdapat 6 label yaitu OFF, VS, S, M, F, VF. batasan-batasan variabel pada label *deptherror* dan *delerror* yang didapatkan setelah percobaan berkali-kali maka dibatasi dalam nilai -80 hingga 80. Untuk memperjelas pernyataan diatas, dapat dilihat pada gambar 7 yang menunjukkan batasan fungsi keanggotaan *deptherror*, gambar 8 yang menunjukkan batasan fungsi keanggotaan *delerror* dan gambar 9 yang menunjukkan batasan fungsi keanggotaan keluaran PWM.

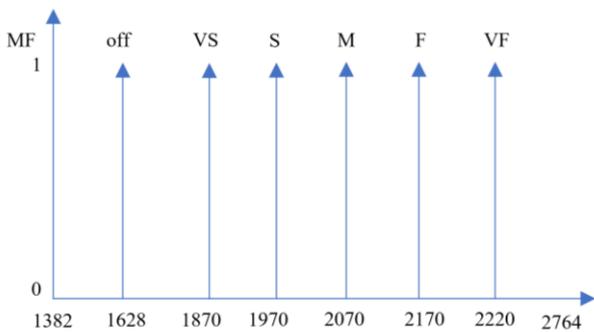


Gambar 7. Batasan fungsi keanggotaan *deptherror*



Gambar 8. Batasan fungsi keanggotaan *delerror*

Kemudian batasan untuk fungsi keanggotaan PWM berupa PWM aktual yang ditentukan pada rentang 1628 hingga 2220



Gambar 9. Batasan fungsi keanggotaan keluaran PWM

2.4.2. Evaluasi Aturan

Derajat keanggotaan keluaran PWM dicari dengan membandingkan derajat keanggotaan dari label *deptherror* dan *delerror*, kemudian dipilih nilai minimal dari kedua label tersebut. Jumlah kombinasi yang dihasilkan dari himpunan masukan *fuzzy*, yang tiap labelnya memiliki 7 fungsi keanggotaan. Maka total kombinasi yang dihasilkan adalah 7 buah fungsi keanggotaan label *deptherror* dikali 7 buah fungsi keanggotaan yaitu 49 aturan.

Tabel 1. Basis aturan *fuzzy*

		Delerror						
		N	Z	PVS	PS	PM	PL	PVL
Deptherror	N	N	N	Z	PVS	PS	PM	PL
	Z	N	Z	PVS	PS	PM	PL	PVL
	PVS	Z	PVS	PS	PM	PL	PVL	PVL
	PS	PVS	PS	PM	PL	PVL	PVL	PVL
	PM	PS	PM	PL	PVL	PVL	PVL	PVL
	PL	PM	PL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL
	PVL	PL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL	PVL

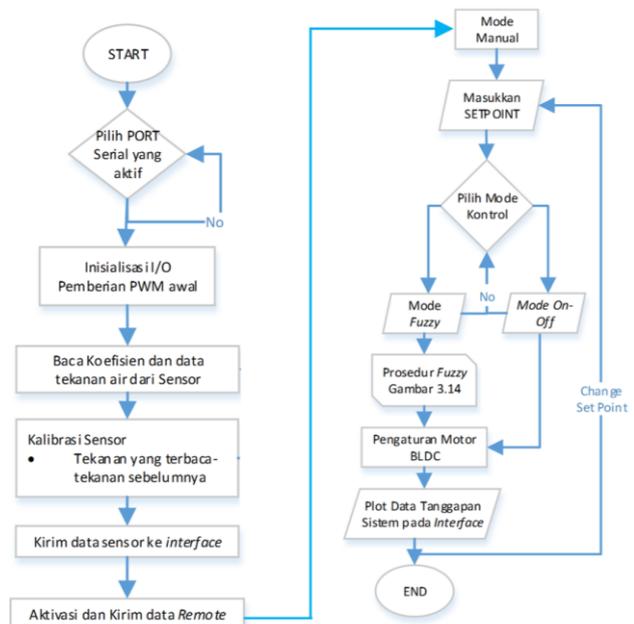
2.4.3. Defuzzifikasi

untuk mendapatkan nilai keluaran, yaitu dengan metode *Weight of Average (WOA)*. Dimana nilai tersebut merupakan nilai keluaran *singleton* dari *fuzzy* yang akan dikalikan dengan enam buah label keluaran dari tahap *rule base* dengan menggunakan persamaan 3

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{3}$$

2.5. Perancangan Program Utama

Perancangan program utama secara garis besar berisi algoritma program kontrol kedalaman ROV, mulai dari pembacaan data sensor, penghitungan konversi data tekanan menjadi kedalaman, kalibrasi *remote*, kontrol logika *fuzzy* dari fuzzifikasi hingga defuzzifikasi, pengaturan motor BLDC dan pengiriman data sensor dari mikrokontroler ATmega128 ke *interface* yang ada di komputer



Gambar 10. Flowchart program utama

3. Hasil dan Analisa

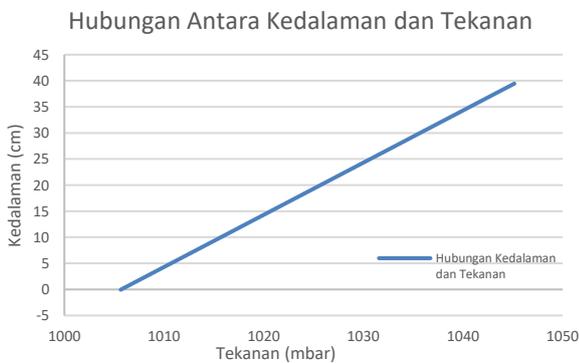
3.1. Pengujian Pembacaan Sensor

Data pengujian ini didapatkan saat melakukan uji coba pembacaan tekanan dan kedalaman dari sebelum sensor masuk ke dalam air, hingga sensor berada di kedalaman 40 m.

Tabel 2. Hubungan antara kedalaman dan tekanan

Penggaris	Rata-rata Kedalaman Terbaca	Tekanan rata-rata
udara	-0,053	1005,65
Permukaan	0,127	1005,83
10 cm	9,28	1014,98
20 cm	19,58	1025,28
30 cm	29,01	1034,71
40 cm	39,45	1045,15

Tabel 2 menunjukkan rata-rata kedalaman dan tekanan yang terbaca oleh sensor. Dari tabel diatas, didapatkan rata-rata jumlah absolut *error* kedalaman sebesar 0.5614 cm. Rata-rata pembacaan kenaikan tekanan dan kedalaman tiap kedalaman yang bertambah 10 cm (ukuran penggaris) yaitu sebesar 9,83 mbar dan 9.83 cm. Hubungan data tekanan dan kedalaman seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 dapat digambarkan menjadi grafik yang ditunjukkan pada gambar 11

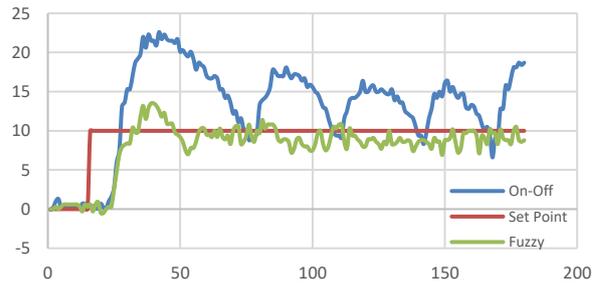


Gambar 11. Grafik hubungan kedalaman dan tekanan

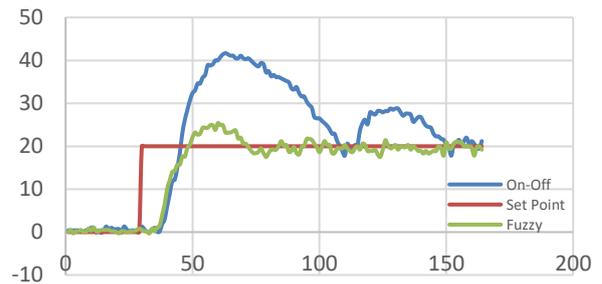
Gambar 11 menunjukkan hubungan antara kedalaman dan tekanan yaitu berbanding lurus. Tiap kenaikan 1 cm, tekanan akan bertambah 1 mbar.

3.2. Pengujian ROV Berdasarkan Kedalaman

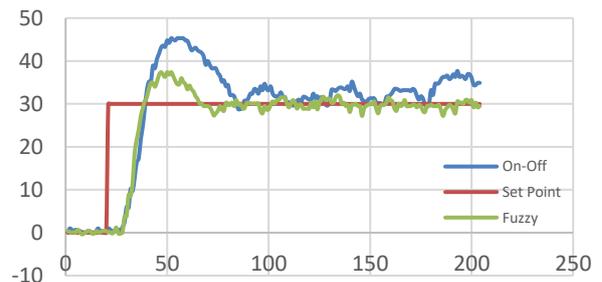
Pengujian ini bertujuan untuk menguji serta membandingkan kontrol logika *fuzzy* dan kontrol *on-off* yang diterapkan dalam pengontrolan kedalaman ROV. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan masukan atau *Set point* kedalaman ROV yang ditentukan yaitu mulai dari kedalaman 10 cm hingga 40 cm.



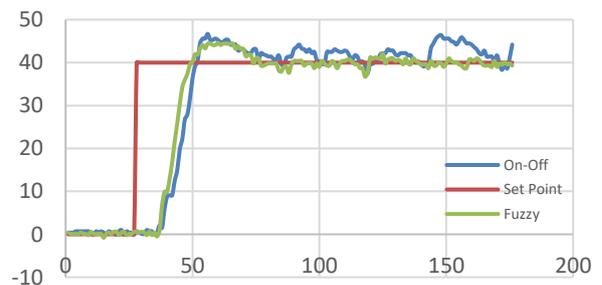
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 12. Tanggapan sistem kontrol logika *fuzzy* dan kontrol *on-off* di kedalaman *set point* (a) 10 cm, (b) 20 cm, (c) 30 cm, (d) 40 cm

Data pengujian tanggapan sistem ROV dengan kontrol logika *Fuzzy* dan kontrol *on-off* yang telah didapatkan seperti dalam gambar 12 akan dibandingkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off berdasarkan kedalaman

	Kedalaman (Set Point)	error (cm)	Tanggapan (ms)	t_r (s)	t_p (s)	t_d (s)	t_s (s)	M_p (%)
Fuzzy	10 cm	1,56	3	1,6	2,3	1	4,1	35
On-Off	10 cm	5,14	3	1,2	2,2	1	6,3	126
Fuzzy	20 cm	2,39	3	2,2	3,3	1,3	5,7	27
On-Off	20 cm	6,53	3	1,5	3,3	1,1	8,4	108,5
Fuzzy	30 cm	3,04	3	1,5	2,3	0,9	5,5	24,67
On-Off	30 cm	5,4	3	1,8	3,4	1,4	6,7	51
Fuzzy	40 cm	3,42	3	2	3	1,3	6	11,5
On-Off	40 cm	5,39	3	2,2	2,6	1,5	5,7	16,75

Kemudian dari tabel 3, dicari rata-rata integral error, t_r , t_p , t_d , t_s , dan M_p berdasarkan tabel 3 dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4

Tabel 4. Perbandingan rata-rata tanggapan kontrol logika fuzzy dengan kontrol on-off

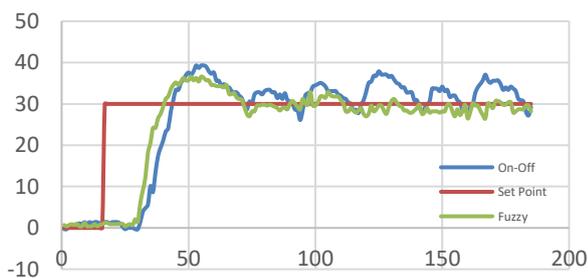
	error (cm)	Tanggapan (ms)	t_r (s)	t_p (s)	t_d (s)	t_s (s)	M_p (%)
Fuzzy	2,6025	3	1,825	2,725	1,125	5,325	24,5425
On-Off	5,615	3	1,675	2,875	1,25	6,775	75,5625

3.3. Pengujian ROV Berdasarkan Gangguan

kedua kontroler diuji dengan beberapa variasi gangguan yang menyerupai sinyal uji impuls. Sinyal uji impuls berguna untuk menguji tanggapan sistem terhadap gangguan sesaat yang muncul tiba-tiba dan untuk menguji sistem yang tanggapannya berubah dalam waktu yang singkat. Variasi gangguan yang diberikan dalam pengujian ini berupa ombak, dorongan, tarikan dan dijalankan.

3.3.1. Gangguan Ombak

Pengujian pertama gangguan berupa ombak secara kontinyu diberikan pada kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off yang diberi set point kedalaman 30 cm.



Gambar 13. Tanggapan sistem kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off terhadap gangguan ombak

Berdasarkan gambar 13, data hasil perbandingan data tanggapan sistem antara sistem kontrol logika fuzzy dan sistem kontrol on-off dalam menghadapi gangguan berupa ombak dapat dilihat pada tabel 5.

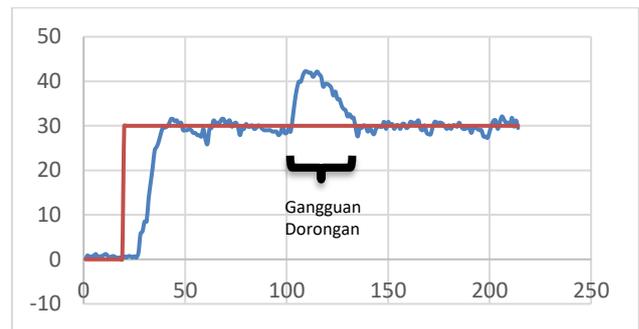
Tabel 5. Perbandingan tanggapan kontrol logika fuzzy dengan kontrol on-off terhadap gangguan ombak

	error (cm)	Tanggapan (ms)	t_r (s)	t_p (s)	t_d (s)	t_s (s)	M_p (%)
Fuzzy	2,71	3	1,7	3,2	0,9	5,6	22
On-Off	5,22	3	2,1	3	1,4	5,1	31

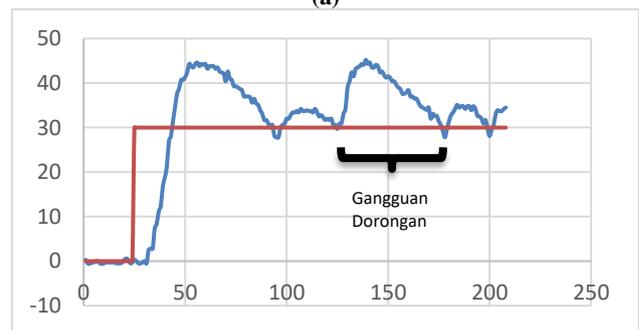
Berdasarkan tabel 5 didapatkan hasil perbandingan data tanggapan sistem yaitu dengan kontrol logika fuzzy, rata-rata jumlah integral error lebih kecil 2,51 cm, t_r lebih cepat 0,4 detik, t_d lebih cepat 0,5 detik dan M_p lebih kecil 9 % dibandingkan dengan kontrol on-off. Dengan demikian kontrol logika fuzzy bekerja lebih baik dari kontrol on-off karena mampu mempertahankan setpoint yang diberikan akibat adanya gangguan terhadap sistem dan tanpa osilasi.

3.3.2. Gangguan Dorongan

Pengujian kedua gangguan berupa dorongan sejauh 10 cm hingga 15 cm secara mendadak diberikan pada kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off yang diberi set point kedalaman 30 cm sebanyak satu kali terhadap sistem saat sistem sudah mencapai kedalaman 30 cm.



(a)



(b)

Gambar 14. (a) Tanggapan sistem kontrol logika fuzzy dan (b) kontrol on-off terhadap gangguan dorongan

Berdasarkan gambar, didapatkan data hasil perbandingan tanggapan sistem antara sistem kontrol logika fuzzy dan sistem kontrol on-off dalam menghadapi gangguan berupa dorongan yang ditunjukkan dalam tabel 6

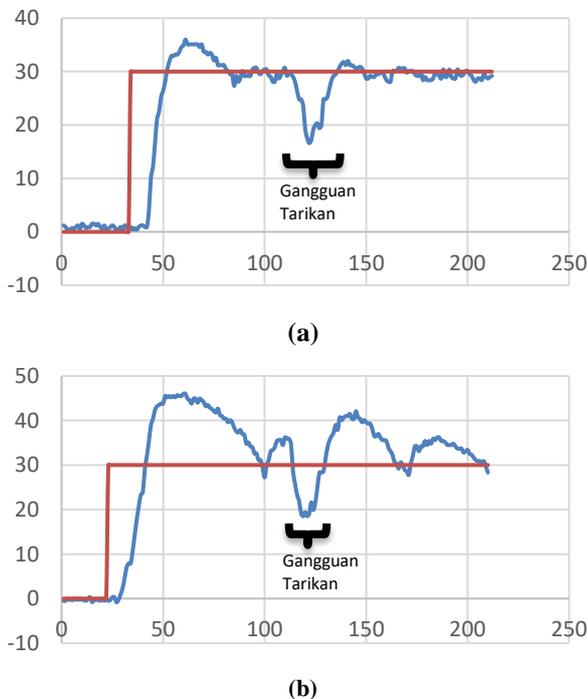
Tabel 6. Perbandingan tanggapan kontrol logika fuzzy dengan kontrol on-off terhadap gangguan dorongan

	error (cm)	Gangguan Mulai (s)	Jarak Dorong (cm)	t _r (s)	t _s (s)
Fuzzy Gangguan	3,57	10,3	12,2	0,2	0,7
On-Off Gangguan	7,21	12,5	15,2	0,2	2,5

Berdasarkan tabel 6 didapatkan hasil perbandingan data tanggapan sistem yaitu dengan kontrol logika fuzzy, rata-rata jumlah integral error lebih kecil 3,64 cm, t_r sama cepat yaitu 0,2 detik dan t_s lebih cepat 1,8 detik dibandingkan dengan kontrol on-off. Perbedaan tersebut juga dapat diakibatkan karena perbedaan jarak dorongan terhadap sistem antara kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off. Dengan demikian kontrol logika fuzzy dalam sistem kontrol kedalaman ROV bekerja lebih baik dari kontrol on-off karena lebih mampu mempertahankan setpoint yang diberikan akibat adanya gangguan terhadap sistem dan osilasi.

3.3.3. Gangguan Ditarik

Pengujian kedua gangguan berupa tarikan sejauh 10 cm hingga 15 cm secara mendadak diberikan pada kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off yang diberi set point kedalaman 30 cm sebanyak satu kali terhadap sistem saat sistem sudah mencapai kedalaman 30 cm.



Gambar 15. (a) Tanggapan sistem kontrol logika fuzzy dan (b) kontrol on-off terhadap gangguan tarikan

Berdasarkan gambar 15, didapatkan data hasil perbandingan tanggapan sistem antara sistem kontrol

logika fuzzy dan sistem kontrol on-off dalam menghadapi gangguan berupa tarikan yang ditunjukkan dalam tabel 7

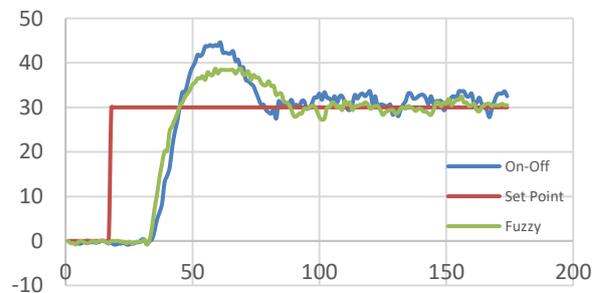
Tabel 7. Perbandingan tanggapan kontrol logika fuzzy dengan kontrol on-off terhadap gangguan tarikan

	error (cm)	Gangguan Mulai (s)	Jarak Dorong (cm)	t _r (s)	t _s (s)
Fuzzy Gangguan	3,45	11,2	13,4	1	3,1
On-Off Gangguan	7,7	11,3	11,5	1	5,2

Berdasarkan tabel 7 didapatkan hasil perbandingan data tanggapan sistem yaitu dengan kontrol logika fuzzy, rata-rata jumlah integral error lebih kecil 4,25 cm, t_r sama cepat yaitu 1 detik dan t_s lebih cepat 2,1 detik dibandingkan dengan kontrol on-off. Perbedaan tersebut juga dapat diakibatkan karena perbedaan jarak tarikan terhadap sistem antara kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off. Dengan demikian kontrol logika fuzzy dalam sistem kontrol kedalaman ROV bekerja lebih baik dari kontrol on-off karena lebih mampu mempertahankan setpoint yang diberikan akibat adanya gangguan terhadap sistem dan tanpa osilasi.

3.3.4. Dijalankan

Pengujian ketiga terhadap kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off yang diberi set point kedalaman 30 cm dan kemudian digerakkan maju maupun berbelok. Tanggapan sistem akan ditunjukkan dalam bentuk grafik dalam gambar 16



Gambar 16. Tanggapan sistem kontrol logika fuzzy dan kontrol on-off saat dijalankan

Berdasarkan gambar 16, data hasil perbandingan data tanggapan sistem antara sistem kontrol logika fuzzy dan sistem kontrol on-off pada saat digerakkan ditunjukkan pada tabel 8

Tabel 8. Perbandingan tanggapan kontrol logika fuzzy dengan kontrol on-off saat dijalankan

	error (cm)	Tanggapan (ms)	t _r (s)	t _p (s)	t _d (s)	t _s (s)	M _p (%)
Fuzzy	2,18	3	1,9	3,3	1,1	7	29
On-Off	5,185	3	1,9	3,5	1,4	5,8	48,67

Berdasarkan tabel 8 didapatkan hasil perbandingan data tanggapan sistem yaitu dengan kontrol logika fuzzy, rata-

rata jumlah integral *error* lebih kecil 3,005 cm, t_r sama cepat yaitu selama 1,9 detik, t_d lebih cepat 0,3 detik, t_p lebih cepat 0,2 detik dan M_p lebih kecil 19,67 % dibandingkan dengan kontrol *on-off*. Kontrol *on-off* lebih cepat 1,2 detik dalam mencapai *steady state* dibandingkan dengan kontrol logika *fuzzy*. Kontrol logika *fuzzy* bekerja lebih stabil dibandingkan kontrol *on-off* karena mampu mempertahankan posisi ROV di *setpoint* kedalaman 30 cm tanpa osilasi.

4. Kesimpulan

Nilai kedalaman yang diperoleh dari rumus tekanan hidrostatik didapatkan rata-rata selisih kedalaman 5,69 cm dari *set point* sedangkan menggunakan rumus empiris didapatkan rata-rata selisih kedalaman 0,56 cm. Hasil analisis hubungan antara pembacaan kedalaman dan tekanan yaitu tiap kenaikan nilai kedalaman sebesar 1 cm, tekanan akan bertambah 1 mbar. Hasil analisis perbandingan kontrol logika *fuzzy* menggunakan 2 *membership function* berupa *deptherror* dan *delerror* dengan jangkauan -80 sampai 80, 49 *rule base*, keluaran PWM 1628,1870,1970,2070,2170,2220 dengan kontrol *on-off* menggunakan keluaran PWM 1620 dan 1800 berdasarkan kedalaman serta gangguan menunjukkan bahwa integral *error* kontrol logika *fuzzy* yang dihasilkan lebih rendah 3,2835 cm, t_r lebih cepat 0,4 detik, t_p lebih cepat 0,175 detik, t_d lebih cepat 0,31 detik, t_s lebih cepat 1,78 detik dan M_p lebih rendah 26,56% dari kontrol *on-off*. Tanggapan sistem mengalami *delay* selama 0,3 detik, dikarenakan pengaturan *baud rate* USART sebesar 9600. Untuk penelitian berikutnya kontrol kedalaman akan menghasilkan tanggapan sistem yang lebih stabil apabila dipadukan dengan kontrol *pitch*, dan menggunakan *single input* FLC agar komputasi lebih cepat dengan kualitas sinyal keluaran sama dengan FLC biasa.

Referensi

- [1]. K. Ishaque, S. S. Abdullah, S. M. Ayob, and Z. Salam, "Single Input Fuzzy Logic Controller for Unmanned Underwater Vehicle," *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 59, no. 1, pp. 87–100, 2010.
- [2]. T. I. Fossen, *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Marine Craft Hydrodynamics and*, First Edit. 2011.
- [3]. A. Gianluca, *Underwater Robots: Motion and Force Control of Vehicle-Manipulator Systems*, vol. 2. 2001.
- [4]. S. M. Zanolli and G. Conte, "Remotely Operated Vehicle Depth Control," *Control Eng. Pract.*, vol. 11, no. 4, pp. 453–459, 2003.
- [5]. K. Young-Shik, L. Jihong, P. Sung-Kook, J. Bong-Hwan, and L. Pan-Mook, "Path tracking Control for Underactuated AUVs Based on Resolved Motion Acceleration Control," *ICARA 2009 - Proc. 4th Int. Conf. Auton. Robot. Agents*, vol. 4, pp. 342–346, 2009.
- [6]. C. S. CHIN, "Systematic Modeling and Model-Based Simulation of a Remotely Operated Vehicle Using Matlab and Simulink," *Int. J. Model. Simulation, Sci. Comput.*, vol. 2, no. 4, pp. 481–511, 2011.
- [7]. A. Bagheri and J. J. Moghaddam, "Simulation and tracking control based on neural-network strategy and sliding-mode control for underwater remotely operated vehicle," *Neurocomputing*, vol. 72, pp. 1934–1950, 2009.
- [8]. M. P. R. Prasad and A. Swarup, "Position and Velocity control of Remotely Operated Underwater Vehicle using Model Predictive Control," *Indian J. Geo-Marine Sci.*, vol. 44, no. 12, pp. 1920–1927, 2015.
- [9]. I. S. Akkizidis, G. N. Roberts, P. Ridaio, and J. Battle, "Designing a Fuzzy-like PD Controller for an Underwater Robot," *Control Eng. Pract.*, vol. 11, no. 4, pp. 471–480, 2003.
- [10]. A. I. Rahmanto, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Perancangan Stabilisasi Sudut Orientasi Pitch Pada Remotely Operated Vehicle (ROV) Dengan Metode Kontrol Proporsional Integral Derivatif", 2015
- [11]. R. Dwirahayu and B. Setiyono, "Perancangan Kontroler Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler Atmega32 Sebagai Kendali Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC), 2016.
- [12]. M. Asrofi, Sumardi, and B. Setiyono, "Stabilisasi Robot Berkaki 6 (Hexapod) Pada Bidang Miring Menggunakan 9 DOF IMU Berbasis Invers Kinematic", 2015.
- [13]. M. Specialities, "Ms5803-14Ba", 2012.