

RANCANG BANGUN KONTROL KESTABILAN STATIS PADA *AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE* MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC

STATIC STABILITY CONTROL DESIGN IN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE USING FUZZY LOGIC METHOD

Danny Dimas Debriano¹, Drs. Suwandi, M.Si.², Reza Fauzi Iskandar, S.Pd, MT.³

¹Mahasiswa S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Dosen S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Dosen S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹danny.debriano@gmail.com, ²suwandi@telkomuniversity.ac.id, ³rezafauzii@gmail.com

Abstrak

Autonomous Underwater Vehicle (AUV) adalah sebuah robot bawah air yang dapat bergerak secara otomatis tanpa kendali langsung dari manusia. Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk merancang suatu *Autonomous Underwater Vehicle* yang tetap stabil dalam keadaan statis pada setiap kedalaman selam yang berbeda-beda walaupun mengalami gangguan yang arah pergerakannya bersifat *yaw* dan *pitch*. Sistem kontrol logika fuzzy dengan masukan berupa sudut dari hasil pembacaan sensor kemudian akan diolah oleh sistem kendali fuzzy logic yang menghasilkan keluaran berupa kecepatan putar motor untuk mengembalikan ke posisi *set point* yang telah ditentukan. Saat pengujian kedalaman masih terdapat error sebesar ± 0.5 cm yang tidak mampu tereduksi karena tidak adanya sensor pengukur kedalaman. Dari hasil pengujian sudut *yaw* dihasilkan nilai *settling time* (t_s) yang lebih besar dari hasil perhitungan waktu estimasi sebesar 0.3 sampai 1 detik disebabkan adanya lonjakan maksimum sebesar 20° sampai 30° . Pengujian robot sudut *yaw* dan *pitch* saat di kedalaman yang lebih besar menghasilkan nilai *settling time* (t_s) 0.2 sampai 1.7 detik lebih lama, hal ini disebabkan karena pengaruh tekanan air yang lebih besar seiring bertambahnya kedalaman.

Kata kunci : *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)*, logika fuzzy, kestabilan.

Abstract

Autonomous Underwater Vehicle (AUV) is an underwater robot that can move automatically without direct control of humans. This final project was created with the aim of designing an *Autonomous Underwater Vehicle* that remains stable in static state at every different depth of dive despite disturbance that the direction of movement is *yaw* and *pitch*. Fuzzy logic control system with input in the form of angle from the sensor readings will then be processed by fuzzy logic control system that produces the output of motor rotation speed to return to the position *set point* that has been determined. During depth testing there is still an error of ± 5 cm which can not be reduced due to the absence of depth measuring sensors. From the results of the test *yaw* angle generated *settling time* value (t_s) is greater than the calculation of estimation time of 0.3 to 1 second due to a maximum spike of 20° to 30° . Testing robot angles *yaw* and *pitch* when in a larger depth results in *settling time* (t_s) 0.2 to 1.7 seconds longer, this is due to the influence of greater water pressure as the depth increases.

Keywords: *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)*, fuzzy logic, stability.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan teknologi semakin cepat. Hal ini dapat dirasakan diberbagai bidang, mulai dari sektor industri sampai ke hal-hal yang sering kita jumpai sehari-hari. Tidak terkecuali di bidang robot bawah air atau *underwater vehicle*. Salah satu jenis *underwater vehicle* adalah *autonomous underwater vehicle (AUV)*. AUV merupakan sebuah robot yang bergerak di bawah air dengan sistem pendorong, dikontrol dan dikendalikan oleh sebuah sistem komputer *on board*, dapat bermanuver secara tiga dimensi [17].

Penggunaan teknologi *autonomous underwater vehicle* di Indonesia masih terbatas, sehingga masih perlu penelitian lebih lanjut lagi mengenai teknologi AUV ini baik dari segi untuk industri, kemiliteran, maupun pendidikan. Terlebih lagi dengan kondisi geografis Indonesia sendiri yang mempunyai total luas wilayah laut seluas 5,9 juta km² terdiri atas 3,2 juta km² perairan territorial dan 2,7 juta km² perairan Zona Ekonomi Eksklusif [1]. Namun, kurangnya perhatian pemerintah membuat potensi perairan menjadi tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal [18].

Banyak faktor yang harus diperhatikan dalam merancang *autonomous underwater vehicle* ini sendiri seperti kestabilan untuk memperkecil resiko robot terkena gangguan saat beroperasi di dalam air. Untuk itu diperlukan

sistem kontrol otomatis yang dapat menjaga kestabilan AUV baik saat robot diam maupun bergerak di dalam air. Oleh karena itu, penulis mengembangkan *autonomous underwater vehicle* yang menggunakan sistem kontrol *fuzzy logic* untuk menjaga kestabilan dari AUV. Untuk itu diperlukan beberapa komponen seperti sensor *accelerometer* dan *gyroscope* untuk pengukuran sudut kemiringan *pitch* dan *yaw*. Kelebihan *fuzzy logic* antara lain *fuzzy logic* tidak membutuhkan biaya yang besar, *fuzzy logic* mencakup kondisi operasi yang lebih luas, *fuzzy logic* juga lebih mudah disesuaikan secara bahasa linguistik manusia, dan *fuzzy logic* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat [2][3]. Beberapa penelitian tugas akhir sebelumnya yang berkaitan adalah Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Logika Fuzzy Untuk Mengatur Kestabilan *Hover* pada *Autonomous Quadcopter*. Hasil pada penelitian tugas akhir tersebut adalah nilai *settling time* kestabilan *quadcopter* sudut *pitch*, *roll*, dan *yaw* saat kondisi *quadcopter* diam (statis) dengan kondisi *hover*, namun masih terdapat kekurangan yaitu hasil pengujian sudut *pitch* dan *roll* saat *hover* masih memiliki nilai error [4]. Penelitian kedua berjudul Kontrol Kedalaman Selam Robot Bawah Air Menggunakan Sensor Tekanan Hidrostatik dengan Metode Logika Fuzzy, menghasilkan pengaruh rentang error pada respon sistem kontrol kedalaman. Kekurangan penelitian tersebut adalah masih terdapat *overshoot* pada respon sistem [5]. Penelitian ketiga berjudul Kestabilan Sikap Kamera Berbasis Sensor IMU dengan Metode *Fuzzy Logic Control*, menghasilkan nilai *settling time* kestabilan kamera sudut *pitch* dan *roll* dengan mengubah *range membership function* dan nilai *output*. Kekurangan penelitian tersebut adalah masih terdapat *overshoot* pada respon sistem [6]. Penelitian-penelitian diatas menjadi referensi pada pengerjaan tugas akhir ini.

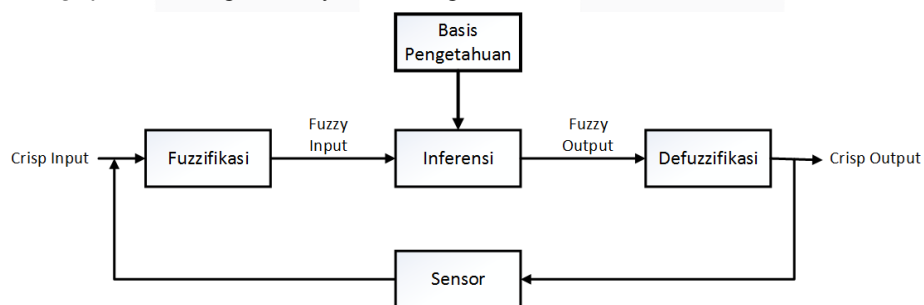
2. Dasar Teori

2.1 Sistem Kerja AUV

Pada robot AUV terdapat dua jenis sensor yang digunakan, yaitu sensor *accelerometer* dan *gyroscope* serta sensor kompas. Kedua sensor tersebut digunakan untuk mengetahui sudut kemiringan yang dialami oleh robot AUV. Sensor MPU6050 digunakan untuk mengetahui sudut pergerakan *pitch* sedangkan sensor HMC58831 untuk mengetahui sudut pergerakan *yaw*. Nilai pembacaan sensor kemudian akan diproses oleh sistem kontrol fuzzy di dalam mikrokontroler untuk menghasilkan keluaran berupa sinyal PWM yang akan menggerakkan motor *brushless*.

2.2 Fuzzy Logic

Logika fuzzy umumnya diterapkan pada masalah yang mengandung unsur ketidakpastian (*imprecise*), *noisy*, dan sebagainya. Logika fuzzy menjembatani bahasa mesin presisi dengan bahasa manusia yang menekankan pada makna atau arti (*significance*). Logika fuzzy dikembangkan berdasarkan bahasa manusia (bahasa alami).



Gambar 2.1 Konfigurasi dasar pengendali logika fuzzy

2.3 Pulse W

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda. Salah satu aplikasi PWM untuk mengendalikan kecepatan putaran motor dengan cara mengatur presentasi lebar pulsa *high* terhadap perioda dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan. Semakin besar perbandingan lama sinyal *high* dengan perioda sinyal maka semakin cepat motor berputar. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, sinyal PWM mempunyai frekuensi yang konstan tetapi *duty cycle* (D) yang bervariasi (dari 0% -100%). Secara matematis *duty cycle* ditunjukkan persamaan 1.

$$T_{\text{total}} = T_{\text{on}} + T_{\text{off}} \quad (1)$$

$$D = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{total}}} \times 100\% \quad (2)$$

$$V_{\text{out}} = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{total}}} \times V_{\text{in}} \quad (3)$$

$$V_{\text{out}} = D \times V_{\text{in}} \quad (4)$$

2.4 Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik merupakan tekanan yang timbul di dalam suatu zat cair pada kedalaman tertentu. Tiap kedalaman di dalam zat cair akan memiliki tekanan hidrostatik (P) yang berbeda-beda, besarnya ditentukan oleh tekanan atmosfer (P₀), massa jenis fluida (ρ), percepatan gravitasi (g), dan kedalaman selam benda (h). Secara matematis tekanan hidrostatik ditunjukkan pada persamaan 5 :

$$P = P_0 + \rho gh \tag{5}$$

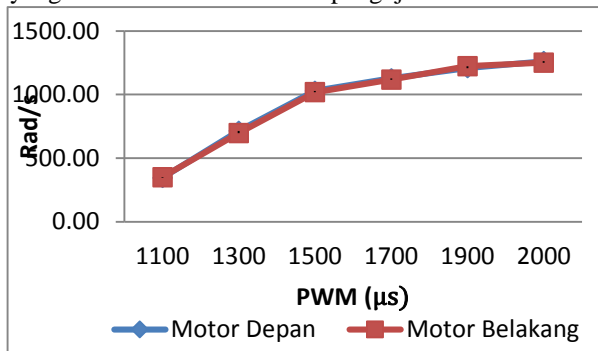
3. Hasil Percobaan dan Analisis

3.1 Pengujian Sensor

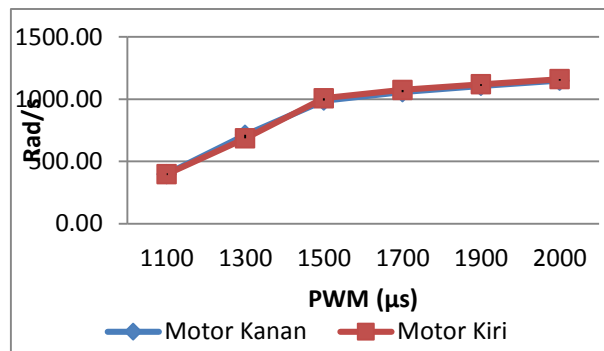
Pengujian sensor MPU6050 dan HMC58831 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan hasil pengukuran aktual menggunakan busur. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai ketelitian sensor sehingga hasil pembacaan sensor dapat sesuai harapan. Sensor MPU6050 digunakan untuk mengukur sudut kemiringan *pitch* pada robot AUV, sedangkan sensor HMC58831 untuk mengukur sudut *yaw*. Pada hasil pengujian sensor MPU6050 didapatkan persamaan $y = 1.03 + 1.13x$ untuk mengoreksi nilai pembacaan sensor, dimana y merupakan nilai sudut (°) dan x adalah nilai sudut yang terbaca sensor (°). Pada hasil pengujian sensor HMC58831 didapatkan persamaan $y = -9.69 + 1.00x$, dimana y merupakan nilai sudut (°) dan x adalah nilai sudut yang terbaca sensor (°).

3.2 Pengujian Motor

Pengujian motor DC dilakukan untuk mendapatkan perbandingan antara nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dikeluarkan oleh mikrokontroler dengan kecepatan putar yang dihasilkan oleh motor DC. Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan putar masing-masing motor dengan menggunakan *tachometer*. Pengujian motor DC dilakukan dengan memberikan nilai PWM dari 1100 sampai 2000. Besarnya nilai PWM ditampilkan oleh PC secara *real time* via serial monitor. Kecepatan putar yang diukur oleh tachometer dicatat untuk kemudian dianalisa hasilnya. Pada sistem robot terdapat 4 buah motor DC dengan 2 spesifikasi motor berbeda, oleh karena itu perbandingan pengujian motor DC dibagi menjadi dua untuk tiap motor dengan spesifikasi yang sama. Berikut data hasil pengujian motor DC.



Gambar 3.1 Hasil pengujian motor DC depan dan belakang



Gambar 3.2 Hasil pengujian motor DC kanan dan kiri

Gambar 3.3 dan 3.4 memperlihatkan bahwa kurva antara motor kanan dan kiri serta motor depan dan belakang sudah berimpit. Untuk itu maka nilai kompensasi untuk menyamakan kecepatan putar motor tidak diperlukan.

Selanjutnya dilakukan pengujian kecepatan rotasi robot (360°) menggunakan motor kanan dan kiri untuk mencari perkiraan waktu yang dibutuhkan robot untuk bergerak pada sudut *yaw*. Hasil pengujian ini akan menjadi acuan dalam merancang sistem kontrol fuzzy untuk menentukan besar kecepatan motor yang sesuai dengan tujuan. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk kemudian diambil nilai rata-ratanya.

		Kanan					PWM	Kecepatan (derajat/detik)
		Waktu hasil pengujian ke- (detik)				Rata-rata		
		1	2	3				
Kedalaman	0 cm	12.8	12.9	12.8	12.83		1110	28.05
		5.7	5.9	5.8	5.80		2000	62.07
	5 cm	13.6	13.5	13.6	13.57		1110	26.54
		6.5	6.5	6.7	6.57		2000	54.82
	10 cm	14.5	14.4	14.7	14.53		1110	24.77
		7.3	7.2	7.3	7.27		2000	49.54

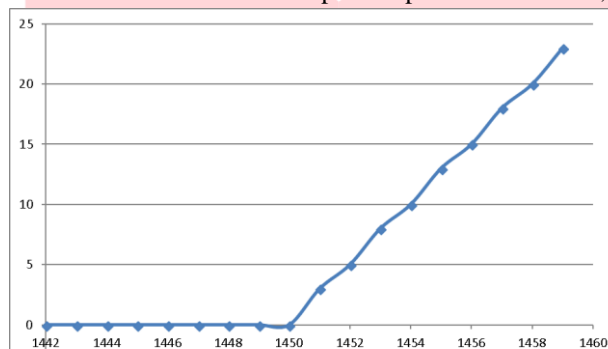
Tabel 3.1 Pengujian kecepatan gerak rotasi sudut *yaw* motor kanan

		Kiri					
		Waktu hasil pengujian ke- (detik)				PWM	Kecepatan (derajat/detik)
		1	2	3	Rata-rata		
Kedalaman	0 cm	12.8	12.7	12.7	12.73	1110	28.27
		5.7	5.9	5.7	5.77	2000	62.43
	5 cm	13.7	13.5	13.6	13.60	1110	26.47
		6.4	6.4	6.5	6.43	2000	55.96
	10 cm	14.4	14.2	14.5	14.37	1110	25.06
		7.3	7.3	7.4	7.33	2000	49.09

Tabel 3.2 Pengujian kecepatan gerak rotasi sudut yaw motor kiri

3.3 Pengujian Kedalaman

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara PWM motor dengan kedalaman selam robot. Pengujian dilakukan pada akuarium yang mempunyai kedalaman maksimal 35 cm. Nilai PWM yang didapatkan akan menjadi *set value* pada pengujian kemiringan sudut yaw dan pitch yang akan menggerakkan motor depan dan belakang. Pada pengujian ini akan mencari nilai PWM pada tiap kedalaman 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.



Gambar 3.3 Grafik hasil pengujian kedalaman terhadap PWM

Berdasarkan hasil pengujian kedalaman yang ditunjukkan Gambar 3.5 diperoleh persamaan $y = 2.5152x - 3646.8$. Persamaan ini digunakan untuk menentukan kedalaman berdasarkan nilai PWM. Berikut adalah nilai PWM yang diperoleh pada kedalaman 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.

	Kedalaman			
	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm
PWM	1000 (stop)	1452	1454	1456

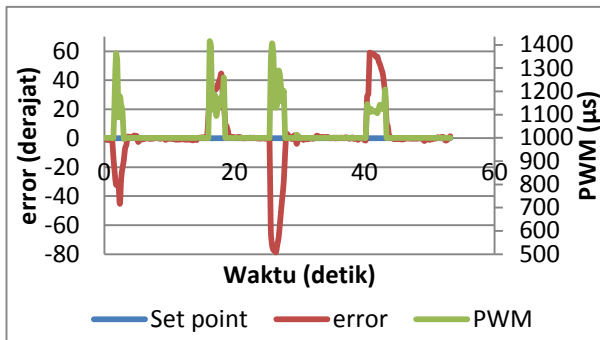
Tabel 3.3 Hasil pengujian PWM terhadap kedalaman

3.4 Pengujian Sudut Yaw

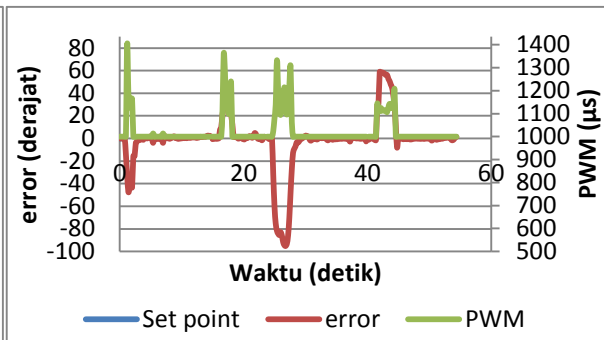
Ada dua macam pengujian sudut yaw, yang pertama dengan rentang nilai *set point* besar antara -20° sampai 20° dan yang kedua dengan rentang nilai *set point* kecil antara -5° dan 5°. Pengujian akan dilakukan pada tiga kedalaman selam yang berbeda (0 cm, 5 cm, dan 10 cm), dimana tiap kedalaman memiliki empat sudut gangguan yang berbeda, dengan variasi nilai sudut gangguan yang berbeda-beda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kedalaman terhadap respon kestabilan robot. Sistem pergerakan robot saat membaca error bernilai positif (berbelok ke kanan) maka motor yang bekerja adalah motor kiri, begitu juga sebaliknya saat error bernilai negatif (berbelok ke kiri) maka motor yang bekerja adalah motor kanan. Berdasarkan hasil pengujian kecepatan rotasi robot yang ditunjukkan pada tabel 3.1 dan 3.2 maka dapat dihitung estimasi *settling time* (t_s) yang ditunjukkan tabel 3.4.

		Kedalaman (cm)		
		0	5	10
Error (derajat)	45	1.60 detik	1.70 detik	1.82 detik
	-45	1.60 detik	1.70 detik	1.82 detik
	90	3.21 detik	3.39 detik	3.63 detik
	-90	3.21 detik	3.39 detik	3.63 detik

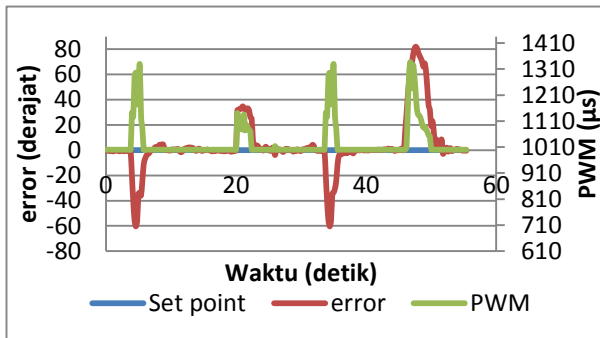
Tabel 3.4 Grafik hasil pengujian kedalaman terhadap PWM



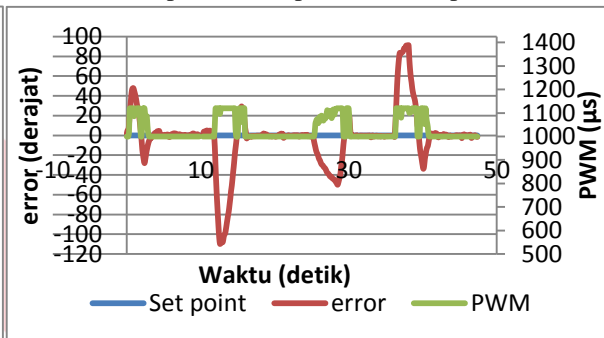
Gambar 3.4 Grafik error sudut yaw kedalaman 0 cm terhadap waktu set point -20° sampai 20°



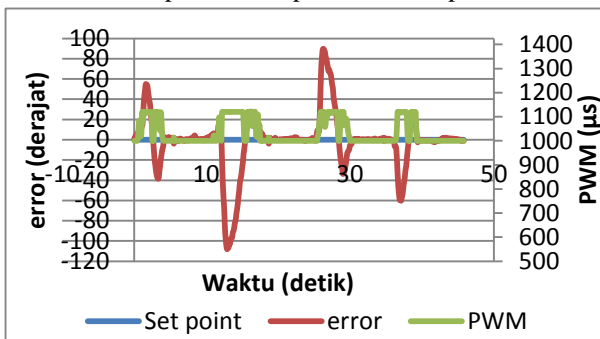
Gambar 3.5 Grafik error sudut yaw kedalaman 5 cm terhadap waktu set point -20° sampai 20°



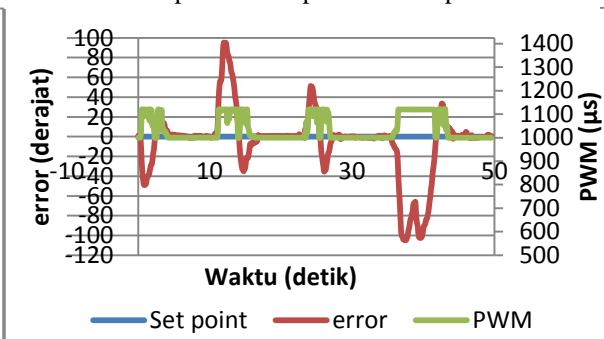
Gambar 3.6 Grafik error sudut yaw kedalaman 10 cm terhadap waktu set point -20° sampai 20°



Gambar 3.7 Grafik error sudut yaw kedalaman 0 cm terhadap waktu set point -5° sampai 5°



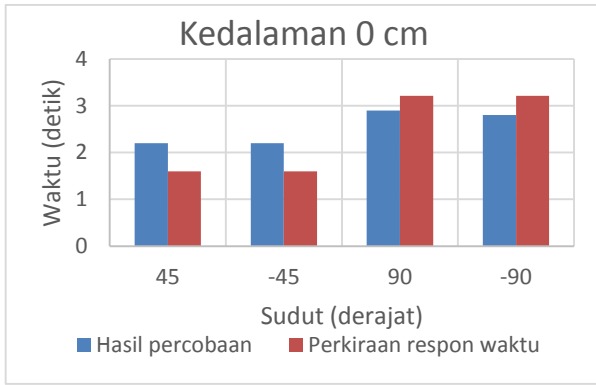
Gambar 3.8 Grafik error sudut yaw kedalaman 5 cm terhadap waktu set point -5° sampai 5°



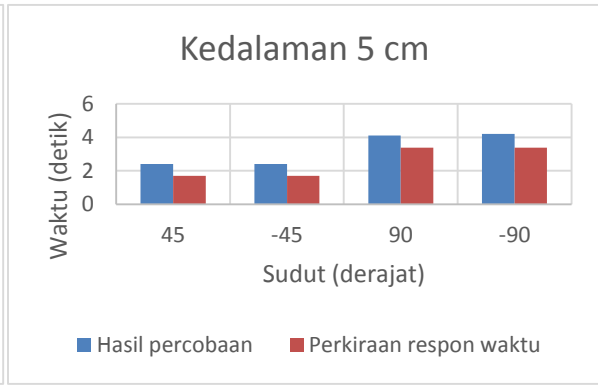
Gambar 3.9 Grafik error sudut yaw kedalaman 10 cm terhadap waktu set point -5° sampai 5°

Pengujian sudut yaw dengan rentang *set point* antara -20° sampai 20° dari gambar di atas dapat diketahui bahwa tidak terdapat *overshoot* dari tiap-tiap gangguan, namun kelemahan sistem kontrol ini adalah tidak dapat menjangkau error sudut kurang dari $\pm 20^{\circ}$ karena masih dalam rentang *set point* sehingga robot tidak akan merespon. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa *settling time* pada pengujian kestabilan robot pada kedalaman 10 cm memerlukan waktu yang paling lama dibandingkan dengan pengujian pada kedalaman 0 cm dan 5 cm.

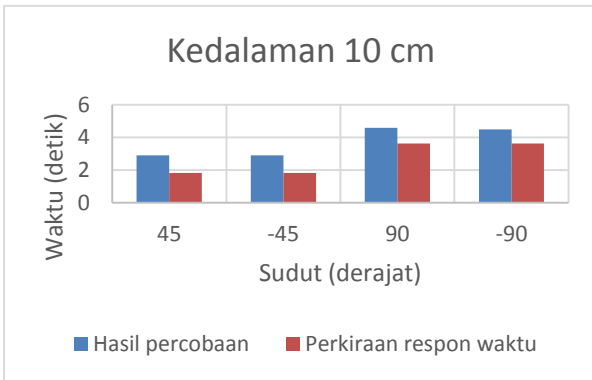
Berikut adalah grafik perbandingan nilai perhitungan estimasi *settling time* (t_s) dengan hasil pengujian rentang *set point* -5° sampai 5° .



Gambar 3.10 Grafik perbandingan *settling time* estimasi dengan *settling time* pengujian



Gambar 3.11 Grafik perbandingan *settling time* estimasi dengan *settling time* pengujian



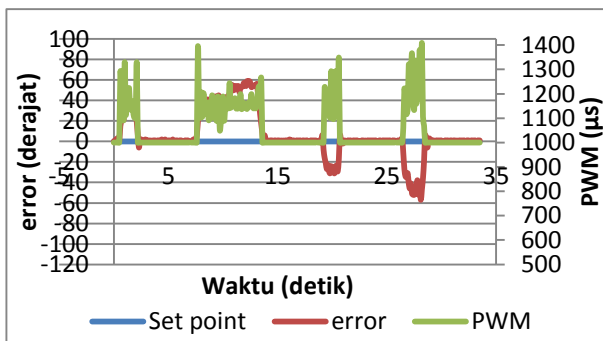
Gambar 3.12 Grafik perbandingan *settling time* estimasi dengan *settling time* pengujian

3.5 Pengujian Sudut Pitch

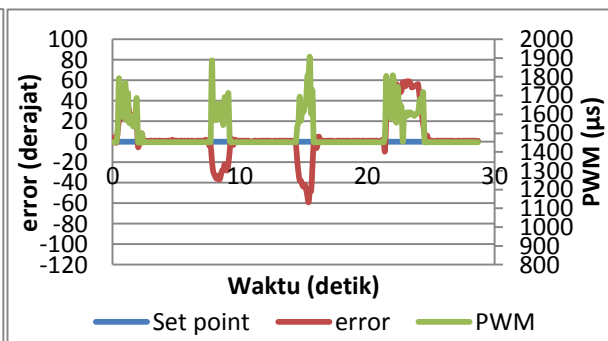
Seperti halnya pengujian sudut yaw, pada pengujian sudut pitch dilakukan di tiga kedalaman selam yang berbeda (0 cm, 5 cm, dan 10 cm), dimana tiap kedalaman memiliki empat sudut gangguan yang berbeda, dengan nilai sudut gangguan -60°, -30°, 30°, dan 60°. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kedalaman terhadap respon kestabilan robot. pengujian robot. Sebelum melakukan pengujian robot dengan menggunakan kontrol fuzzy, dilakukan pengujian respon kestabilan alamiah atau tanpa kontrol, supaya terlihat hasil sebelum dan sesudah menggunakan kontrol. Berikut adalah hasil pengujian kestabilan tanpa kontrol.

		Kedalaman (cm)		
		0	5	10
Error (derajat)	30	1 detik	1.1 detik	1.3 detik
	-30	1 detik	1.1 detik	1.3 detik
	60	1.3 detik	1.5 detik	1.6 detik
	-60	1.3 detik	1.5 detik	1.6 detik

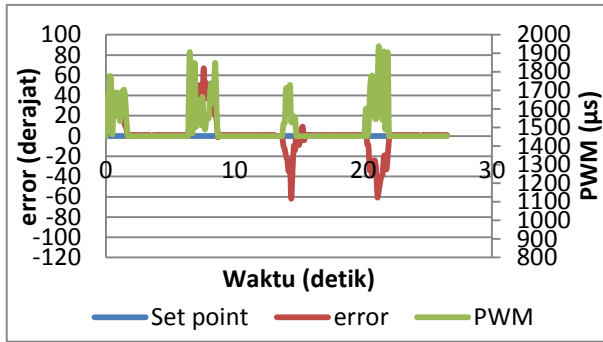
Tabel 3.5 *Settling time* (t_s) error sudut pitch tanpa kontrol



Gambar 3.13 Grafik error sudut pitch kedalaman 0 cm terhadap waktu

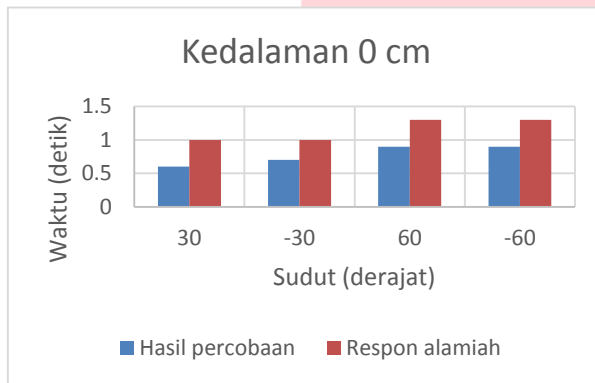


Gambar 3.14 Grafik error sudut pitch kedalaman 5 cm terhadap waktu

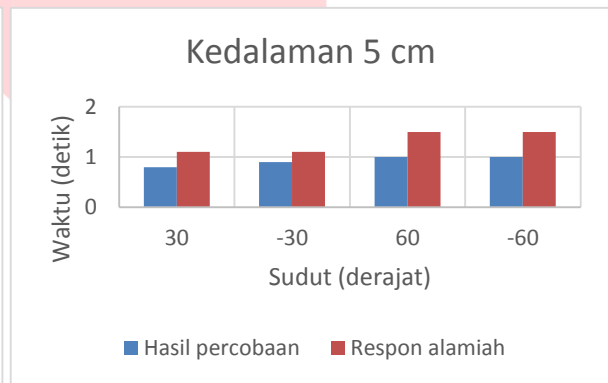


Gambar 3.15 Grafik error sudut *pitch* kedalaman 5 cm terhadap waktu

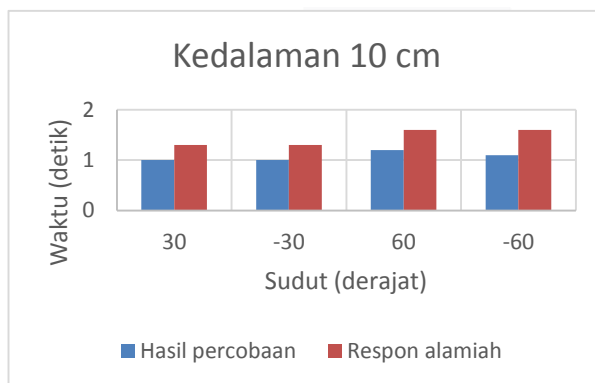
Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa *settling time* pada pengujian kestabilan robot pada kedalaman 10 cm memerlukan waktu yang paling lama dibandingkan dengan pengujian pada kedalaman 0 cm dan 5 cm. Berikut adalah hasil perbandingan *settling time* (t_s) antara pengujian dengan kontrol fuzzy dan tanpa kontrol (respon alamiah).



Gambar 3.16 Grafik perbandingan *settling time* estimasi dengan *settling time* pengujian



Gambar 3.17 Grafik perbandingan *settling time* estimasi dengan *settling time* pengujian



Gambar 3.18 Grafik perbandingan *settling time* estimasi dengan *settling time* pengujian

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan pengolahan data yang telah dijelaskan pada bab empat dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaturan kedalaman robot berdasarkan masukan nilai PWM motor tanpa adanya sensor pengukur kedalaman, mengakibatkan adanya nilai error yang tidak mampu tereduksi sebesar ± 0.5 cm.
2. Hasil pengujian sudut *yaw* menghasilkan *settling time* (t_s) yang lebih lama sebesar 0.3 sampai 1 detik dibandingkan perhitungan estimasi *settling time* (t_s) disebabkan terjadinya lonjakan maksimum hingga mencapai sudut antara 20° sampai 30°.

- 3 Pemberian rentang *zero* (Z) atau *set point* yang lebih besar ($\pm 20^\circ$) pada parameter fuzzyfikasi sudut yaw mampu mereduksi nilai lonjakan maksimum, namun robot tidak dapat merespon rentang error $\pm 20^\circ$.
- 4 Kedalaman air memperbesar nilai *settling time* (t_s) AUV pada sudut yaw maupun *pitch* sebesar 0.2 sampai 1.7 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ridwan Lasabuda, "Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Lautan Dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia," *Jurnal Ilmiah Platax* Vol. I-2, Januari 2013.
- [2] Abdullah I. Al-Odienat, Ayman A. Al-Lawama, "The Advantages of PID Fuzzy Controllers Over The Conventional Types," *American Journal of Applied Sciences* 5 (6): 653-658, 2008.
- [3] Athia Saelan, "LOGIKA FUZZY," Institut Teknologi Bandung, 2009.
- [4] Andi Fridoni Silalahi, S.T., "Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Logika Fuzzy Untuk Mengatur Kestabilan *Hover* pada *Autonomous Quadcopter*," 2014.
- [5] Fahmi Firman Pauzi, S.T., "Kontrol Kedalaman Selam Robot Bawah Air Menggunakan Sensor Tekanan Hidrostatik dengan Metode Logika Fuzzy," 2016.
- [6] Ghesa A.W.S. , Erwin S.,S.T.,M.T.,Ph.D, Agung S.W.,S.T.,M.T., "Kestabilan Sikap Kamera Berbasis Sensor IMU dengan Metode *Fuzzy Logic Control*," 2017.
- [7] W.H. Wang*, X.Q. Chen, A. Marburg, J.G. Chase, C.E. Hann, "Design of Low-Cost Unmanned Underwater Vehicle for Shallow Waters," University of Canterbury, 2008.
- [8] Prof. V.G.Idichandy (Faculty Advisor), A.Garlapati, K.Natrajan, N.Vellimuttam, P.Duvey, R.Sirikonda, R.Chouhan, R.Bobba, R.Bhagavathi, S.Gupta, V.Krishnakumar, V.Upadhyay, V.K.Yadav, "Autonomous Underwater Vehicle," Indian Institute of Technology Madras.
- [9] Dr. Deborah F., Steve E., Kate M., Benjamin R., Dr. Kimberly C., Rich P., Rich A., Tyler H., Chris M., Ryan S., Julia G., Dr. Signe R., Dr. Michael S., Rafael R. Rodriguez, "Engineering Primer Document for the Autonomous Underwater Vehicle (AUV)," Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), July 2007.
- [10] Alma V.R., Wahyudi, Setiawan I., "Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [11] Rif'an M., Djurianto W., Sulistiyanto N., Siwindarto P., Aswin M., Nurdinawati V., "Pemanfaatan 3 axis Gyroscope L3G4200D untuk pengukuran Sudut Muatan Roket", *Jurnal EECCIS* Vol. 6, No. 2, Desember 2012.
- [12] Zainudin, Aziz. dkk. (TT). *Kompas Digital Penunjuk Arah Kiblat dengan Output Visual*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [13] Fredy, Frederick, Stefan . (2010). *Mobile Robot Navigation Using Depth First Search Algorithm*. Jakarta : Universitas Bina Nusantara.
- [14] M.Zamroni, Moediyono, "Kendali Motor Dc Sebagai Penggerak Mekanik Pada Bracket Lcd Proyektor Dan Layar Dinding Berbasis Mikrokontroler At89s51", Universitas Diponegoro Semarang.
- [15] Fauzan Masykur, "Implementasi Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Diabetes Mellitus Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Web", Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [16] Guntoro Helmi, Somantri Yoyo, Haritman Erik, "RANCANG BANGUN MAGNETIC DOOR LOCK MENGGUNAKAN KEYPAD DAN SOLENOID BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO," Universitas Pendidikan Indonesia, Maret 2013.
- [17] http://auvac.org/uploads/publication_pdf/Autonomous-Underwater-Vehicles%20seminar.pdf. [7 Desember 2015]
- [18] <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-22112-2107100167-Chapter1.pdf>. [10 Desember 2015]
- [19] <http://www.fxmodels.com/alvin%20hull%20shots/shroud.jpg>. [16 Januari 2016]
- [20] <http://image.slidesharecdn.com/pwmpresent-131127073711-phpapp01/95/pulse-width-modulation-3-638.jpg?cb=1385559484>. [11 Februari 2016]
- [21] http://dosen.tf.itb.ac.id/~amoranto/IT%20TELKOM/Mekanika%20Fluida/Mekanika_Fluida%201.ppt [25 Februari 2016]
- [22] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>. [3 Maret 2016]
- [23] <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega.jpg>. [3 Maret 2016]
- [24] <http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-MPU-6000A-00v3.4.pdf>. [3 Maret 2016]
- [25] <http://playground.arduino.cc/uploads/Main/mpu-6050.jpg>. [3 Maret 2016]
- [26] https://www.itead.cc/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/i/m/im130918001_8.jpg. [3 Maret 2016]