

Kontrol Kestabilan Kapal *Autonomous Submarine Surface Vehicle* Dengan Metode *Fuzzy Logic*

Abdul Hafizh Abyan Faruq^{1*}, Joko Endrasmono², Isa Rachman³, Agus Khumaidi⁴, Ryan Yudha Adhitya⁵,
Zindhu Maulana Ahmad Putra⁶

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{1,2,3,4,5,6}Kampus ITS Sukolilo Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Kode Pos 60111

E-mail: abdulazam202@gmail.com¹, endrasmono@ppns.ac.id², isarachman@ppns.ac.id³, aguskhumaidi@ppns.ac.id⁴,
ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id⁵, zindhu@ppns.ac.id⁶

Info Naskah:

Naskah masuk: 29 Mei 2023

Direvisi: 14 Juni 2023

Diterima: 15 Juni 2023

Abstrak

Kapal *Autonomous Submarine Surface Vehicle* merupakan jenis kendaraan bawah air tak berawak. Saat kapal melakukan manuver bergerak terdapat gerakan *Pitch* dan *Roll* yang begitu besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengontrol kestabilan kapal *Autonomous Submarine Surface Vehicle* dengan *Fuzzy*. Proses pertama adalah pengambilan data *Pitch* dan *Roll*. Selanjutnya proses *Fuzzifikasi* untuk mengubah masukan data dengan nilai tegas menjadi nilai *Fuzzy*. Kemudian dilakukan Inferensi untuk menggunakan aturan (*if – then*) dan proses *Defuzzifikasi* untuk mengubah hasil dari tahap inferensi menjadi nilai keluaran. Terakhir adalah proses menstabilkan kapal dengan motor dc *Thruster*. Apabila sistem diaktifkan maka memiliki waktu 0,518 detik lebih cepat menuju *steady state* daripada sistem nonaktif dengan kemiringan *roll (plus)* 11°. Pada kemiringan *roll (plus)* 20° perputaran PWM tertinggi 1600µs dengan waktu 9,342 detik menuju *steady state* dan kemiringan *roll (plus)* 11° dengan PWM tertinggi 1500 µs dengan waktu 4,335 detik. Berdasarkan penelitian tersebut, bahwa metode *Fuzzy* dapat mengontrol kestabilan kapal *Autonomous Submarine Surface Vehicle*.

Keywords:

autonomous;
fuzzy;
roll;
pitch;
stability.

Abstract

The *Autonomous Submarine Surface Vehicle* is a type of unmanned underwater vehicle. When the ship performs maneuvers, there are large *Pitch* and *Roll* motions. This research aims to control the stability of the *Autonomous Submarine Surface Vehicle* with *Fuzzy*. The first process is taking *Pitch* and *Roll* data followed by the *Fuzzification* process to change input data with firm values into *Fuzzy* values. The next stage is *Inference* by using the rules (*if – then*) and the *Defuzzification* process to change the results of the inference stage into output values. The last is the process of stabilizing the ship with a *Thruster dc* motor. When the system is activated, it has a time of 0.518 seconds faster to *steady state* than the deactivated system with a *roll tilt* of (plus) 11°. On the *roll tilt* of (plus) 20° the highest PWM rotation is 1600µs with a time of 9,342 seconds to *steady state* and the *roll tilt* is (plus) 11° with the highest PWM of 1500µs with a time of 4,335 seconds. Based on this research, the *Fuzzy Method* can control the stability of the *Autonomous Submarine Surface Vehicle* ship.

*Penulis korespondensi:

Abdul Hafizh Abyan Faruq

E-mail: abdulazam202@gmail.com

1. Pendahuluan

Autonomous Submarine Surface Vehicle (ASSV) merupakan jenis kendaraan bawah air tak berawak yang dirancang agar beroperasi secara mandiri, tanpa kendali manusia secara langsung. ASSV dilengkapi dengan sensor, sistem komunikasi, dan sistem propulsi yang memungkinkan untuk bernavigasi serta melakukan tugas di dalam air. ASSV biasanya digunakan sebagai penelitian dan eksplorasi kelautan, serta untuk memantau dan survei lingkungan laut. ASSV mendapatkan perhatian yang semakin meningkat di berbagai dunia karena manfaat dari peningkatan keselamatan serta efisiensinya [1].

Autonomous Submarine Surface Vehicle telah mengalami kemajuan teknologi membuat potensi ASSV meningkat [2]. Peningkatan ini membuat perubahan pada komunikasi jarak jauh, pemetaan cerdas 3D, dan deteksi gambar secara *real time*. Peningkatan juga terjadi pada kestabilan kapal, kestabilan kapal dipengaruhi berbagai faktor seperti pengaruh dari manuver kapal [3].

Performa manuver kapal merupakan parameter penting dalam kestabilan kapal. Manuver kapal juga mempengaruhi ketahanan kapal dan kinerja total kapal [4]. Akibat dari manuver kapal membuat kapal menjadi tidak stabil, Hal tersebut membuat kondisi tidak normal atau keluar dari kondisi tunak (*steady state*). Kondisi normal sebuah kapal adalah kapal tetap dalam keadaan tunak (*steady state*) atau tidak berubah seiring berjalannya waktu.

Kapal umumnya memiliki *gyroscope* sebagai sensor pembacaan sudut arah kapal. *gyroscope* adalah sebuah *aktuator* yang digunakan untuk mengontrol *attitude* serta *stability* dalam suatu sistem [5]. Pergerakan kapal dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan sumbu pergerakannya, yaitu gerak *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Gerakan *pitch* dan *roll* inilah yang membuat pengaruh kapal ASSV dalam melakukan deteksi gambar.

Dalam melakukan manuver ditemukan beberapa hal yang menyebabkan kapal mengalami tidak stabilnya atau mengalami gerakan *pitch* dan *roll* kapal yang besar [6]. Kapal memiliki peluang kegagalan lebih besar dalam melakukan deteksi gambar secara *realtime* yang berakibat tidak optimal serta kapal berpeluang besar mengalami guncangan yang besar. Guncangan yang besar dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen yang ada di dalam kapal tersebut.

Pengaruh dari gelombang air maupun arus air juga dapat mempengaruhi sebuah stabilitas kapal dalam menjaga orientasi sudut kapal. Perbedaan pada gelombang akan memengaruhi nilai dari stabilitas kapal. Stabilitas merupakan salah satu faktor penting yang harus di miliki kapal untuk keamanan perangkat yang di dalamnya [7].

Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk mengontrol gerakan *pitch* dan *roll* kapal *Autonomous Submarine Surface Vehicle* menggunakan metode *fuzzy logic* dengan mengubah besaran nilai masukan sudut *gyroscope* menjadi nilai kecepatan putar motor dc *thruster* yang ada di badan kapal sehingga dapat membuat kapal kembali stabil serta memperbaiki kekurangan pada penelitian sebelumnya. Kestabilan kapal tergantung dari pembacaan sensor *gyroscope* serta

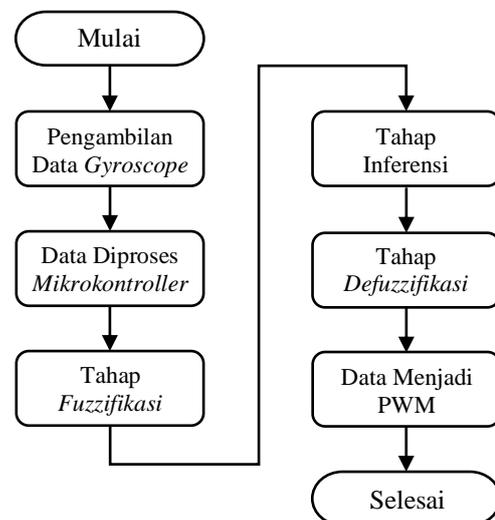
kecepatan motor yang berasal dari data yang diproses oleh *fuzzy*.

Ada beberapa metode serta model dalam sistem kestabilan seperti pada penelitian Devha P Sinarga tahun 2016 pada penelitiannya menggunakan metode *fuzzy logic* untuk menstabilkan gerakan kapal selam secara konstan serta didapat bahwa PWM terendah adalah 150 akan tetapi tidak diketahui hasil waktu dalam kestabilannya [8]. Danny Dimas Debriano tahun 2018 dengan didukung sensor Mpu-6050, pada penelitiannya menghasilkan *settling time* 0,2 detik sampai 1,7 detik namun pada penelitiannya tidak dijelaskan proses menuju *steady state* serta pengujian dilakukan hanya pada *yaw* dan *pitch* [9]. Berdasarkan referensi sebelumnya dengan metode *fuzzy logic* yang mudah diaplikasikan maka digunakan metode *fuzzy* pada penelitian ini serta pengujian dilakukan untuk mengontrol kestabilan *pitch* dan *roll* yang sebelumnya hanya terbatas pada *pitch* serta mempercepat kapal dalam proses kembali stabil.

2. Metode

Logika *fuzzy* pertama kali diusulkan oleh Lotfi Zadeh, seorang matematikawan serta ilmuwan komputer, pada tahun 1960-an. Zadeh tertarik dalam mengembangkan sistem matematika yang dapat merepresentasikan. Zadeh mengusulkan konsep terhadap himpunan *fuzzy*, yang memungkinkan representasi nilai perkiraan, bukan tepat [10]. Logika *fuzzy* memiliki beberapa derajat keanggotaan dalam rentang antara 0 hingga 1. Berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai yaitu nilai 1 atau nilai 0 [11]. Logika *fuzzy* memiliki nilai keanggotaan antara 0 sampai 1 dengan konsep samar atau tidak pasti seperti "sedikit", "sedang", dan "banyak" [12].

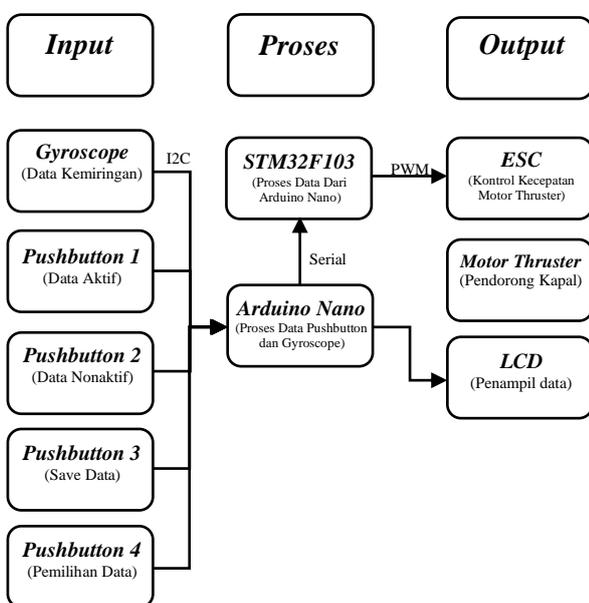
Metode *fuzzy* Sugeno dapat disebut juga metode penalaran atau *rule evaluation fuzzy* Sugeno yang mana konsep ini tidak berupa himpunan *fuzzy* untuk mendapatkan *output* akan tetapi konstanta atau persamaan linier [13]. Digunakannya metode *fuzzy* karena metode tersebut menggunakan konsep sederhana sehingga mudah dimengerti serta logika *fuzzy* sangat fleksibel.



Gambar 1. Alur Tahapan Metode Fuzzy

Terdapat beberapa tahapan pada metode penelitian ini seperti Gambar 1. Tahapan proses metode *fuzzy* dimulai dengan pengambilan data *gyroscope* kemudian hasil akhir berupa PWM untuk kecepatan motor *thruster*. Adapun detail tahapan metode *Fuzzy*:

- 1) *Gyroscope* mengambil sudut data secara *real time* sehingga mengetahui derajat kemiringan sebuah kapal. Terdapat 3 data yang akan di keluarkan oleh *gyroscope* antara lain *pitch*, *roll*, dan *yaw*. Data *pitch* dan *roll* saja yang diperlukan pada penelitian ini, untuk data *yaw* tidak digunakan.
- 2) Setelah *gyroscope* mengambil sudut data maka secara langsung mengirim ke mikrokontroler untuk di proses dengan menggunakan metode *fuzzy* Sugeno untuk mengolah data sudut menjadi data kecepatan motor dc *thruster* dalam proses olah data terdapat beberapa proses yang dilakukan oleh mikrokontroler dalam metode *fuzzy* Sugeno.
- 3) Data masukan dilakukan proses *fuzzifikasi* merupakan suatu proses terjadi perubahan dari himpunan non-*fuzzy* (*crisp*) ke dalam himpunan *fuzzy*, masukan bukan *fuzzy* (*crisp*) dipetakan ke bentuk himpunan *fuzzy* sesuai dengan basis pengetahuan[14].
- 4) Setelah dilakukan *fuzzifikasi* maka dilakukan inferensi atau aturan untuk proses pengolahan *input* dari nilai *fuzzy* yang didapat dengan mengombinasikan *rule base* atau aturan yang telah dibuat untuk memperoleh *output* berupa nilai *fuzzy* baru.
- 5) *Defuzzifikasi* adalah langkah terakhir dalam suatu sistem dengan logika *fuzzy* yang tujuannya mengonversi setiap hasil dari tahap Inferensi yang diekspresikan dalam bentuk *fuzzy* bilangan real[15].
- 6) Tahap ini merupakan tahap paling terakhir yaitu dengan mengubah hasil proses *fuzzy* menjadi data kecepatan *aktuator* motor dc *thruster* sehingga kapal ASSV mengalami keseimbangan pada titik kemiringannya.



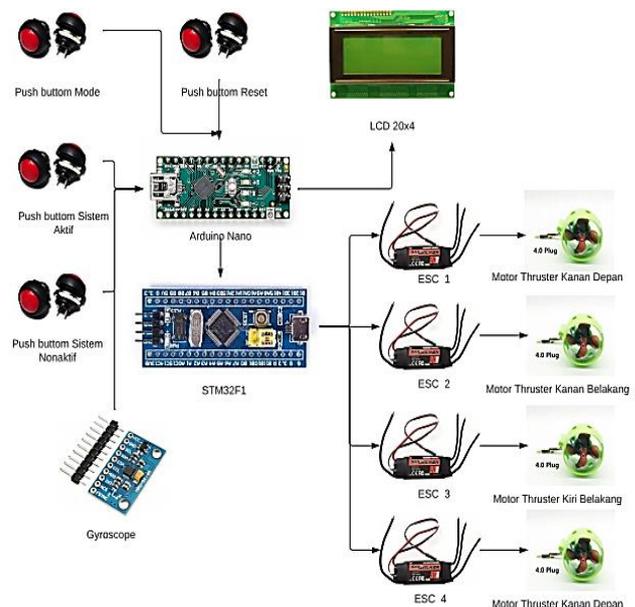
Gambar 2. Diagram Blok

Perancangan robot pada penelitian ini akan menggunakan komponen *input* dan *output* seperti Gambar 2. Terdapat *input* sensor *gyroscope* sebagai sensor untuk menentukan orientasi gerak dengan bertumpu pada kapal atau peletakan yang berotasi dengan cepat pada sumbu yang diproses. Hasil pembacaan sensor *gyroscope* akan dikirim ke Arduino Nano, data yang dikirim berupa data *pitch* dan *roll*, terdapat juga data *yaw* akan tetapi tidak dipakai dalam pemrosesan data. Arduino nano menerima *input* dari ke 3 *pushbutton* yang kemudian diproses sehingga data dapat diubah sesuai dengan keinginan, proses ini merupakan mengaktifkan maupun menonaktifkan mode sistem kestabilan. Dari proses *pushbutton* tadi akan menghasilkan *output* yang dikirim ke *Liquid crystal display* sehingga dapat terlihat data yang ada di Arduino nano dan juga data mode sistem aktif maupun nonaktif di kirim ke mikrokontroler STM32F103.

Setelah menerima data yang dikirim dari Arduino Nano maka STM32F103 akan memproses semua data yang dimana memakai metode *Fuzzy* yang hasil prosesnya berupa data kecepatan sehingga ESC dapat dijalankan dengan output data dari proses STM32F103 tadi. ESC akan mengeluarkan arus yang membuat motor *Thruster* bergerak sehingga propeler akan mendorong sisi kapal sesuai penempatan motor *Thruster*.

3. Hasil dan Pembahasan

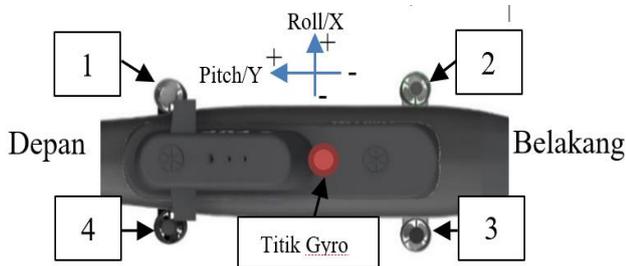
Pada Gambar 3 terdapat beberapa komponen untuk menunjang penelitian ini, komponen tersebut dirancang sehingga dapat dipergunakan sebagai sistem kestabilan. Dalam mengontrol kestabilan kapal digunakan 4 motor *thruster* yang terletak pada kanan dan kiri yang dikontrol kecepatannya oleh ESC pada tiap motor. Setiap motor *thruster* memiliki kecepatan yang berbeda-beda Sehingga memerlukan 4 *output* pada *fuzzy logic*.



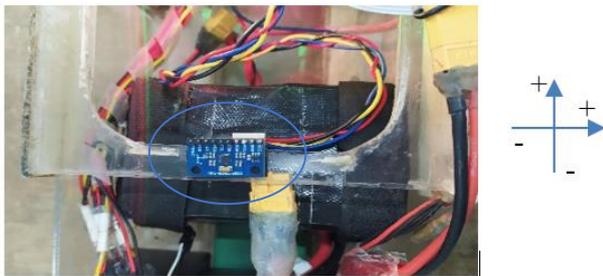
Gambar 3. Perancangan Hardware

3.1 Pengujian Sensor Gyroscope

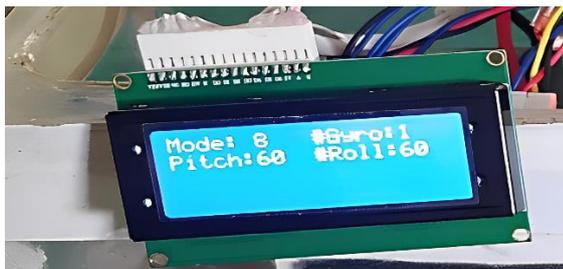
Terlihat pada Gambar 4 terdapat titik merah sebagai posisi tengah sebuah kapal sehingga diletakkan sensor *gyroscope*. Pada Gambar 4 juga terdapat nomor yang menunjukkan posisi nomor motor *thruster* yang sama dengan nomor PWM sehingga dapat diketahui motor *thruster* berapakah yang berputar, Serta arah panah yang menunjukkan kemiringan *pitch* atau *roll*.



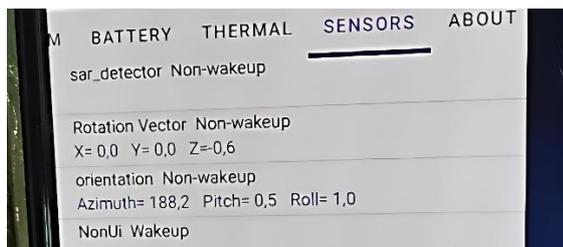
Gambar 4. Peletakan Gyroscope Bagian Luar



Gambar 5. Peletakan Gyroscope Bagian Dalam



Gambar 6. Pembacaan Gyroscope



Gambar 7. Sensor Gyroscope Handphone

Apabila dilihat pada dalam kapal maka terlihat seperti Gambar 5 dengan posisi *gyroscope* yang berada di tengah. Peletakan tersebut akan menghasilkan posisi arah derajat kemiringan sesuai dengan panah pada Gambar 4 apabila posisi depan kapal terangkat maka nilai *pitch* atau sumbu y dengan posisi arah panah vertikal maka nilai akan menuju

minus sebaliknya jika posisi depan kapal tenggelam maka nilai akan menuju positif. Berlaku pada *roll* atau sumbu x apabila posisi kapal miring ke kanan dengan posisi arah panah horizontal maka nilai akan menuju positif sebaliknya jika posisi kapal miring ke kiri maka nilai akan menuju ke negatif.

Pada proses pengujian keakuratan sensor *gyroscope* pada sensor gy-9250 sebagai contoh pengambilan pada bidang datar didapat nilai *pitch* sebesar 60 dan *roll* sebesar 60, dengan arti bahwa nilai sensor ini memiliki pergeseran dari *range* sudut asli -180° sampai $+180^{\circ}$ dengan nilai tengah 0° menjadi 0 sampai 120 dengan nilai tengah 60. Pengujian ini dibatasi nilai sudut 60° ke kiri sampai 60° ke kanan dikarenakan apabila posisi kapal miring lebih dari 60° maka sebelum menyentuh sudut 60° kapal sudah dalam proses menuju posisi tengah kapal.

Pergeseran nilai dikarenakan proses *fuzzy* di STM32F103 tidak dapat dilakukan jika bernilai negatif (-). Oleh karena itu dapat diartikan nilai di bawah 60 adalah nilai negatif (-) sebaliknya nilai di atas 60 adalah nilai positif (+), hal ini berlaku pada *pitch* dan *roll*. Pada Gambar 6 merupakan hasil dari sensor gy-9250 dengan nilai *pitch* 60 dan *roll* 60 pada bidang datar. Berbeda dengan Gambar 7 yang merupakan sensor *gyroscope* yang terdapat pada *handphone*.

Tabel 1. Error x Gyroscope

Sudut x	Handphone	Gy 9250	Error Gy
5°	5°	5,1°	0,1°
10°	10°	10,3°	0,3°
15°	15°	15,4°	0,4°
20°	20°	20,2°	0,2°
25°	25°	25,3°	0,3°
30°	30°	30,3°	0,3°
35°	35°	35,2°	0,2°
40°	40°	40,1°	0,1°
45°	45°	45,1°	0,1°
50°	50°	50,3°	0,3°

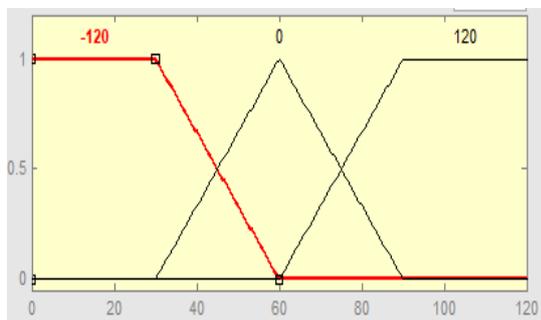
Tabel 2. Error y Gyroscope

Sudut y	Handphone	Gy 9250	Error Gy
5°	5°	4,7°	0,3°
10°	10°	9,7°	0,3°
15°	15°	14,8°	0,2°
20°	20°	19,8°	0,2°
25°	25°	24,8°	0,2°
30°	30°	29,8°	0,2°
35°	35°	34,6°	0,4°
40°	40°	39,7°	0,3°
45°	45°	44,7°	0,3°
50°	50°	49,8°	0,2°

Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa nilai hasil sensor gy-9250 memiliki *error* nilai rata-rata sebesar 0,23° dan Tabel 2 memiliki rata-rata nilai *error* sebesar 0,26° dengan kata lain rata-rata *error* jika x dan y digabung adalah 0,245°. Hal tersebut terjadi dikarenakan pembulatan nilai hasil dari pembacaan sensor gy-9250.

3.2 Fuzzifikasi

Tahap pertama dalam proses *fuzzy logic* adalah *fuzzifikasi*. Dalam penelitian ini terdapat 2 variabel *input* berupa sudut kemiringan yang terbagi menjadi beberapa himpunan *fuzzy*. Pada himpunan *fuzzy* pertama merupakan *input* variabel dari *pitch* dengan 3 fungsi keanggotaan antara lain fungsi segitiga dan fungsi trapesium yang membentuk derajat keanggotaan berupa bilangan antara 0 sampai 1. Hal yang sama dilakukan pada variabel *input* kedua berupa *roll* yang mempunyai 3 fungsi keanggotaan yang sama dengan variabel *pitch*. Bentuk grafik terlihat pada Gambar 8 derajat keanggotaan dengan nilai variabel 0 sampai 120. Gambar grafik tersebut berlaku pada *input* dari *pitch* maupun *roll* sehingga memiliki grafik yang sama.



Gambar 8. Derajat Keanggotaan

Tabel 3. Inferensi

No.	PITCH	ROLL	PWM	PWM	PWM	PWM
			1 (µs)	2 (µs)	3 (µs)	4 (µs)
1	0	0	1100	1100	2000	1100
2	0	60	1100	1600	1600	1100
3	0	120	1100	2000	1100	1100
4	60	0	1100	1100	1600	1600
5	60	60	1100	1100	1100	1100
6	60	120	1600	1600	1100	1100
7	120	0	1100	1100	1100	2000
8	120	60	1600	1100	1100	1600
9	120	120	2000	1100	1100	1100

3.3 Inferensi

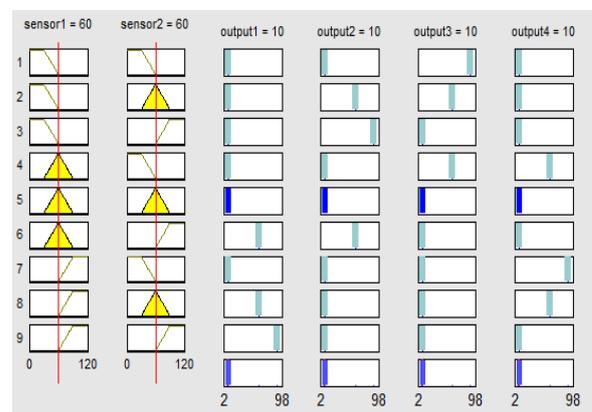
Setelah dilakukan proses *fuzzifikasi* maka selanjutnya merupakan proses *inferensi* dengan mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara menggunakan aturan (*if-then*) yang telah ditetapkan basis pengetahuan.

Pada Tabel 3 inferensi didapat aturan-aturan untuk pembentukan *fuzzy rule*. Pembentukan aturan *fuzzy* dari dua variabel *input pitch* dan *roll* dengan 4 variabel *output* yang telah didefinisikan dengan melakukan analisa data pada

tiap-tiap himpunan *fuzzy* tiap variabelnya didapat 9 aturan *fuzzy* yang akan dipakai sehingga membentuk *if-then*. Sebagai contoh jika *input pitch* 60 dan *roll* 0 maka PWM 1 bernilai 1100 µs, PWM 2 bernilai 1600 µs, PWM 3 bernilai 1600 µs, dan PWM 4 bernilai 1100 µs. Nilai *output* PWM dengan nilai 1000 µs sampai 2000 µs.

3.4 Defuzzifikasi

Tahap terakhir dari proses *fuzzy logic* adalah proses *defuzzifikasi* dengan mengubah hasil dari tahap *inferensi* menjadi *output* yang bernilai tegas (*crisp*) menggunakan prinsip keanggotaan yang telah ditetapkan. Nilai *output* pada PWM terbagi menjadi 3 yaitu 10,60, dan 90. Sebagai contoh apabila dilihat pada Gambar 9 dengan nilai *input pitch* 60 dan *roll* 60 maka didapat PWM 1 bernilai 1100 µs, PWM 2 bernilai 1100 µs, PWM 3 bernilai 1100 µs, dan PWM4 bernilai 1100 µs. Nilai 60 merupakan nilai tengah dari keseimbangan yang telah dibahas pada pengujian sensor *gyroscope*, nilai 10 adalah nilai 1100 yang telah diskala dari 1000 sampai 2000.

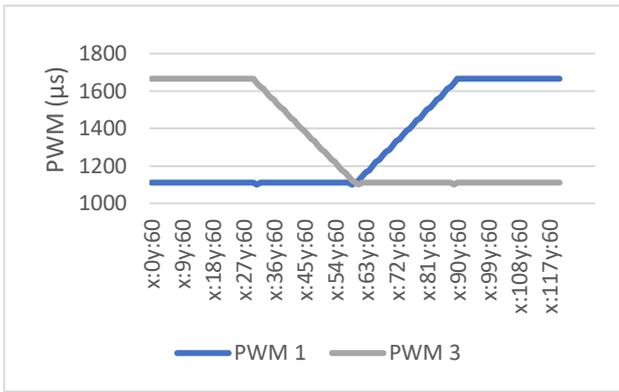


Gambar 9. Hasil Fuzzifikasi

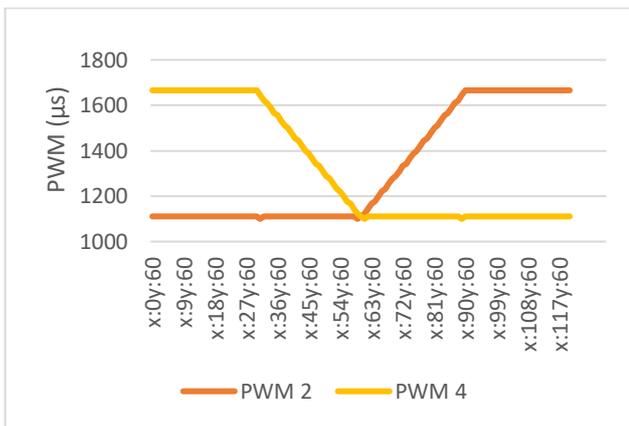
3.5 Uji Coba Langsung

Setelah dilakukan proses *fuzzy* maka tahap berikutnya adalah uji coba secara langsung pada kapal. Proses uji coba dilakukan untuk mengetahui berapa nilai kecepatan yang telah di proses dalam *fuzzy logic* yang menghasilkan *output* PWM pada setiap *motor thruster* yang ada di kanan dan kiri kapal. Sehingga dapat diketahui apabila kapal memiliki kemiringan tertentu maka akan menghasilkan *output* PWM yang nantinya akan mendorong kapal untuk bergerak menuju titik stabil sebuah kapal.

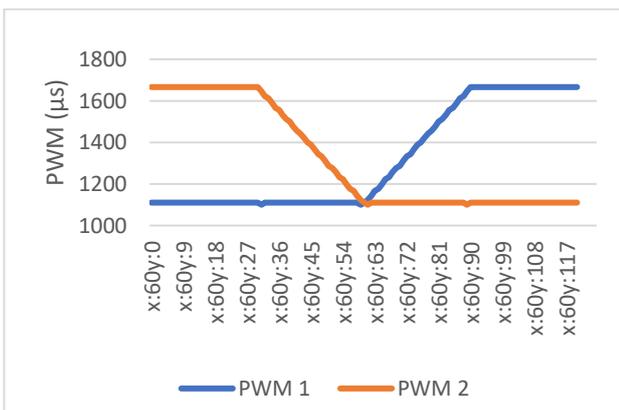
Pengujian terhadap *roll* menghasilkan grafik seperti Gambar 10 dan Gambar 11 dengan nilai maksimal 1660 µs, pengujian dimulai pada kemiringan *roll* 0 sampai 120 dengan nilai tengah 60 atau sudut asli -60° sampai +60° dengan nilai tengah 0° akan tetapi pengujian ini hanya nilai *roll* saja yang bergerak dan nilai *pitch* tetap pada titik tengah. Berdasarkan pengujian tersebut didapat nilai PWM 1 dan PWM 4 yang sama serta PWM 2 dan PWM 3 dengan nilai yang sama. Grafik akan naik atau turun secara linier mulai dari 60 sampai 90 atau 60 sampai 30.



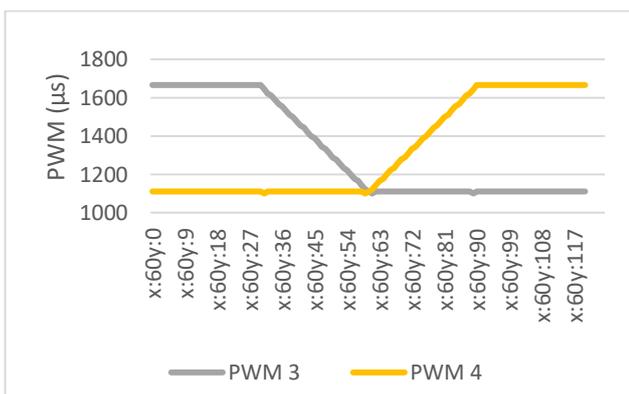
Gambar 10. Grafik PWM Terhadap Roll



Gambar 11. Grafik PWM Terhadap Roll

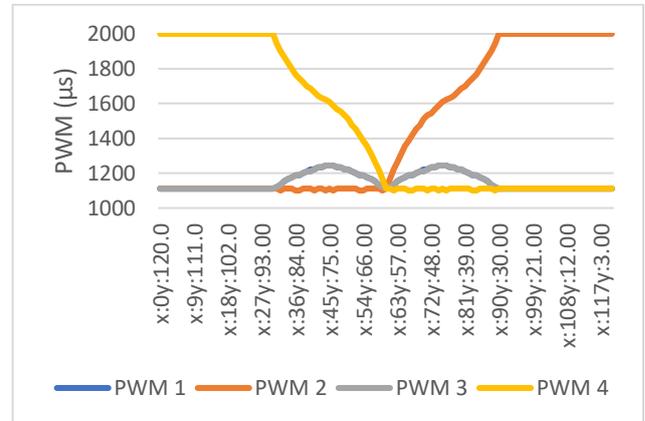


Gambar 12. Grafik PWM Terhadap Pitch

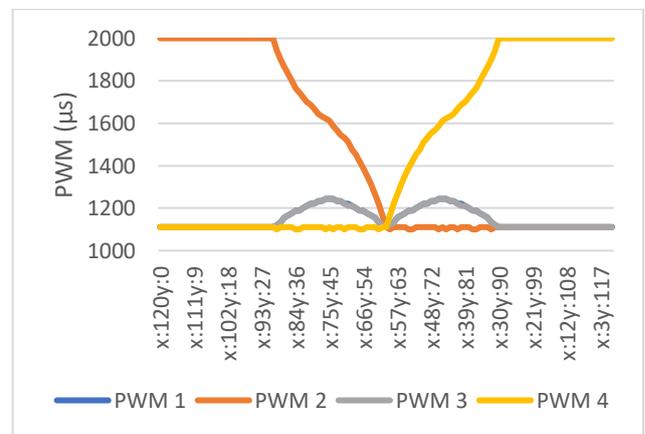


Gambar 13. Grafik PWM Terhadap Pitch

Pengujian terhadap *pitch* menghasilkan grafik seperti Gambar 12 dan Gambar 13 dengan nilai maksimal 1660 μs, pengujian ini menghasilkan grafik yang menyerupai pada pengujian terhadap *roll* sebelumnya. Pengujian dimulai pada kemiringan *pitch* 0 sampai 120 akan tetapi pengujian ini hanya nilai *pitch* saja yang bergerak dan nilai *roll* tetap pada titik tengah. Berdasarkan pengujian tersebut didapat nilai PWM 1 dan PWM 2 sebesar 1100 μs pada titik *roll* 0.



Gambar 14. Grafik PWM Terhadap Pitch Dan Roll 1

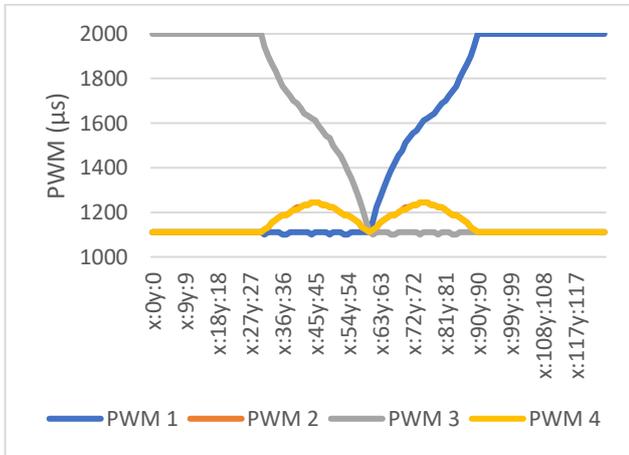


Gambar 15. Grafik PWM Terhadap Pitch Dan Roll 2

Pengujian pada pergerakan *pitch* dan *roll* dengan dimulai dari *pitch* 120 dan *roll* 0 atau sudut asli *pitch* +60° dan *roll* -60° dengan artian motor *thruster* 2 dengan posisi lebih tenggelam daripada motor *thruster* yang lainnya, pergerakan ini akan menuju motor *thruster* 4 sehingga memiliki pergerakan menyilang, grafik terhadap kecepatan motor atau PWM dapat dilihat pada Gambar 14 yang memiliki nilai bervariasi sebagai contoh nilai 2000 μs pada PWM 2 saat *pitch* 120 dan *roll* 0.

Pada Gambar 15 terdapat nilai yang hampir sama dengan Gambar 14. Pengujian ini dilakukan berlawanan dengan pergerakan pada pengujian sebelumnya dimulai dengan motor *thruster* 4 tenggelam lebih dalam yang kemudian bergerak ke arah motor *thruster* 2 yang tenggelam daripada motor *thruster* lainnya. Nilai yang muncul pada grafik Gambar 14 dan Gambar 15 memiliki nilai yang sesuai dengan 9 aturan *fuzzy* pada tahap inferensi.

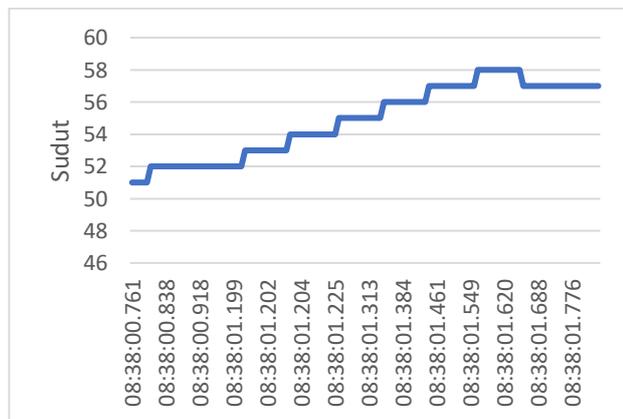
Setelah pengujian dari motor *thruster* 2 ke motor *thruster* 4 atau sebaliknya pengujian juga dilakukan pada sisi yang berlawanan yaitu dari motor *thruster* 3 lebih tenggelam terlebih dahulu kemudian pada motor *thruster* 1 yang lebih tenggelam dari motor *thruster* lainnya. Pada Gambar 16 didapat nilai yang hampir sama dengan pengujian sebelumnya yang berarti menandakan bahwa nilai *output* PWM sesuai dengan *rule* yang telah dibuat, hal ini selaras dengan ketiga grafik yang telah diuji.



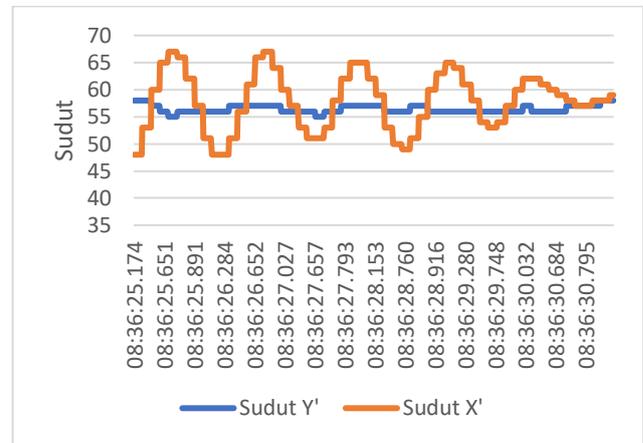
Gambar 16. Grafik PWM Terhadap Pitch Dan Roll 3

Grafik pada Gambar 17 merupakan pengujian dengan dimulai dengan kapal di miringkan dari sudut *pitch* 51 atau sudut asli *pitch* -9° yang kemudian dilepaskan sehingga kapal akan mengalami kembali ke titik tengah dengan catatan waktu dari detik 00.761 sampai ke 01.793 akan tetapi titik berhenti di sudut 58-57.

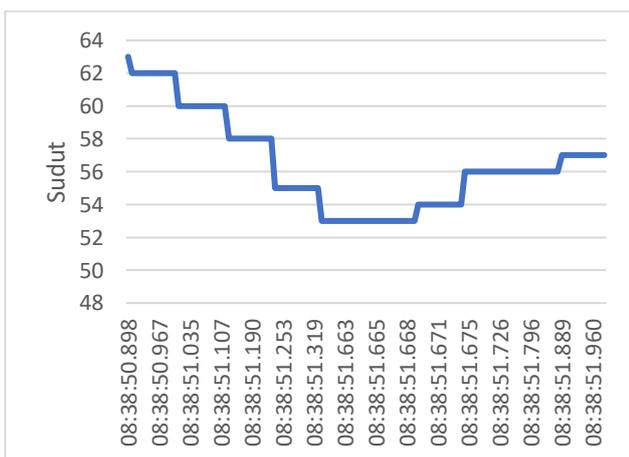
Hal yang sama pada grafik Gambar 18 yang telah diketahui dimulai dari titik sudut 63 atau sudut asli *pitch* $+3^\circ$ kemudian bergerak menuju titik tengah dengan durasi 0,991 detik akan tetapi hal yang sama kembali ke titik sudut 58-57°.



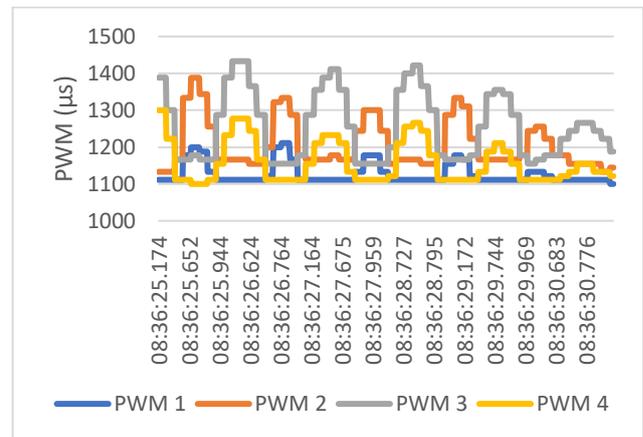
Gambar 17. Grafik Kemiringan Sudut Pitch 51



Gambar 19. Grafik Kemiringan Roll 49



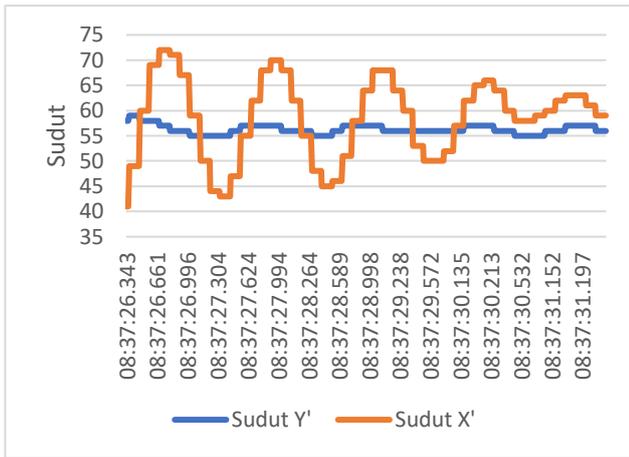
Gambar 18. Grafik Kemiringan Sudut Pitch 63



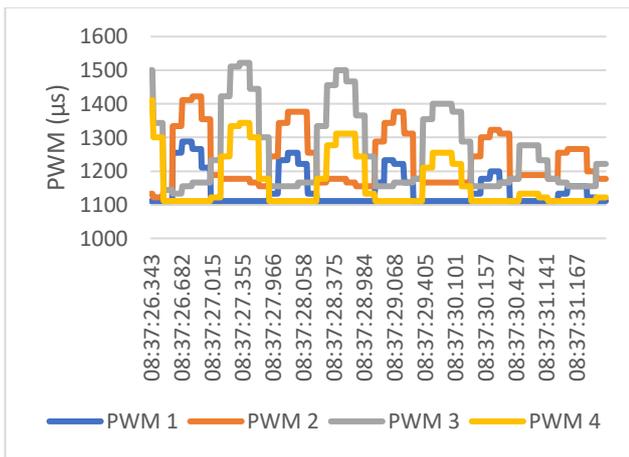
Gambar 20. Grafik PWM dengan kemiringan Roll 49

Pengujian dilakukan pada sudut *roll* yang diubah atau kapal dimiringkan sekitar *roll* 49 atau sudut asli *roll* -11° kemudian kapal dilepas sehingga kapal akan mengalami perubahan nilai *roll*. Apabila dilihat dari grafik Gambar 19 yang memiliki waktu 0,270 detik untuk mencapai titik tengah atau titik stabil sebelum terjadi osilasi serta memiliki waktu keadaan tunak (*steady state*) dengan capaian waktu mulai dari detik 25,174 sampai detik 30,947.

Sejalan dengan kemiringan sudut 49 yang menghasilkan nilai PWM yang nantinya membuat nilai berubah sesuai dengan kondisi yang sedang berjalan. Pada Gambar 20 nilai PWM 3 memiliki nilai yang lebih tinggi dari yang lainnya. Apabila dilihat pada grafik Gambar 20 yang memuat kecepatan PWM 3 dan PWM 4 memiliki grafik yang tinggi hal tersebut sejalan apabila kapal miring ke kiri.



Gambar 21. Grafik Kemiringan Roll 40



Gambar 22. Grafik PWM Dengan Kemiringan Roll 40

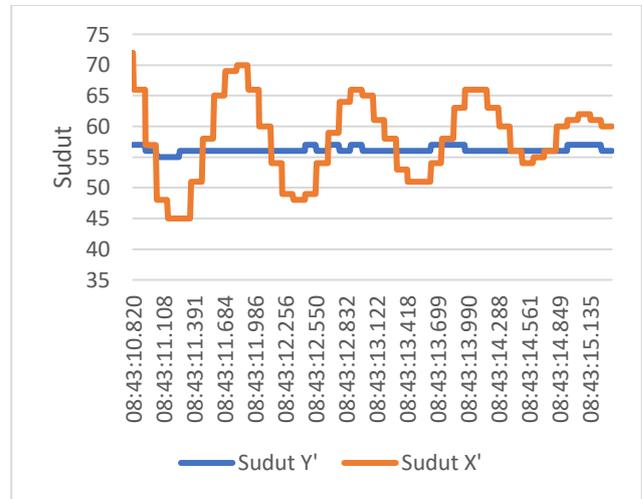
Pengujian juga dilakukan dengan sudut 40 atau sudut asli roll -20° yang menghasilkan grafik Gambar 21 dan Gambar 22. Dari kedua grafik menyerupai grafik sebelumnya pada pengujian sudut roll 49 atau sudut asli roll -11° , dengan nilai PWM 4 dan PWM 3 yang lebih tinggi daripada PWM 1 dan PWM 2 sesuai dengan nilai roll dan pitch.

Dalam pergerakan osilasi kapal diawali dengan kemiringan 40 atau sudut asli roll -20° yang kemudian berlawanan sudut yang mencapai osilasi 72 atau sudut asli roll $+12^\circ$ dan terus menurun seiring dengan berjalannya waktu sampai kondisi tunak (*steady state*) yang memerlukan waktu dari 4,906 detik. Kecepatan PWM seiring dengan kemiringan kapal pada PWM tertinggi yaitu PWM 3.

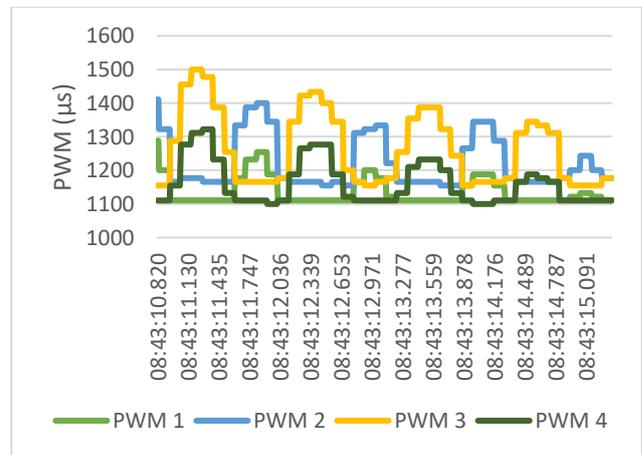
Dengan sudut kemiringan yang berbeda pada kemiringan roll kapal 49 atau sudut asli roll -11° memiliki titik puncak PWM yang lebih kecil dibandingkan dengan kemiringan roll kapal 40 atau sudut asli roll -20° . Hal tersebut sejalan apabila semakin besar kemiringan kapal maka kecepatan pada motor *thruster* dengan ketentuan bahwa motor yang memiliki kecepatan yang lebih besar berada di sebelah kiri kapal apabila kapal miring ke kiri begitu sebaliknya

Pengujian dilakukan pada sudut roll lebih dari 60 dengan pengujian nilai 71 atau sudut asli roll $+11^\circ$. Apabila

dilihat dari grafik Gambar 23 yang memiliki waktu 0,265 detik untuk mencapai titik tengah atau titik stabil sebelum terjadi osilasi serta memiliki waktu keadaan tunak (*steady state*) dengan capaian waktu mulai dari detik 10,820 sampai detik 15,134. Grafik Gambar 24 memiliki pola yang tidak jauh beda dengan pengujian di bawah sudut roll 60 atau di bawah sudut asli roll 0° dengan nilai PWM 2 lebih tinggi terlebih dahulu sebelum tergantikan oleh PWM 3.



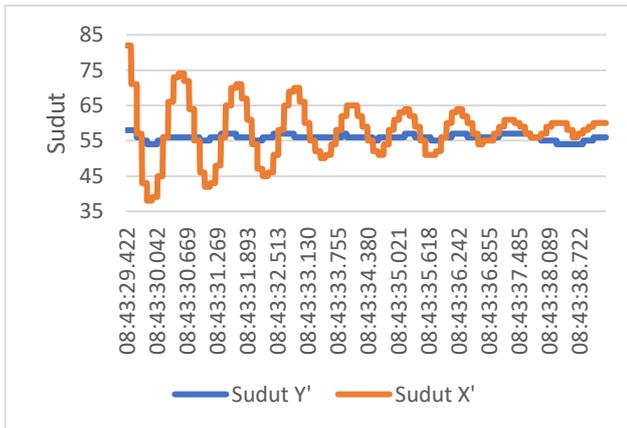
Gambar 23. Grafik Kemiringan Roll 71



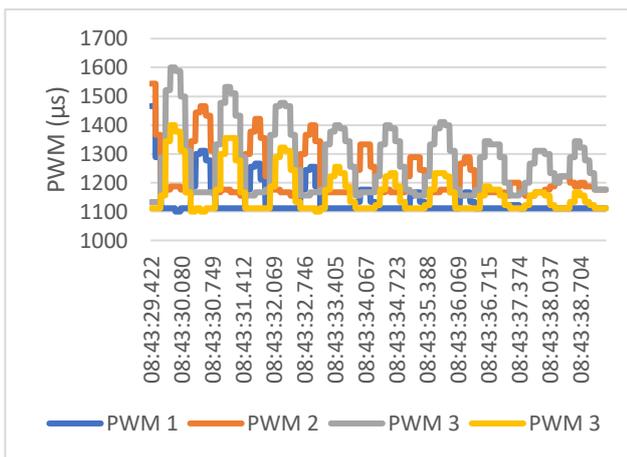
Gambar 24. Grafik PWM Dengan Kemiringan Roll 71

Pengujian juga dilakukan dengan sudut 80 atau sudut asli roll $+20^\circ$ yang menghasilkan grafik Gambar 25 dan Gambar 26. Dari kedua grafik menyerupai grafik sebelumnya pada pengujian ketiga sudut yang berbeda beda, hal ini menandakan bahwa pergerakan grafik PWM akan menghasilkan nilai yang berbeda satu dengan lainnya sesuai dengan aturan *fuzzy*. Dengan demikian bahwa nilai *fuzzy* tetap sama meskipun nilai atau kondisi kemiringan berubah – ubah.

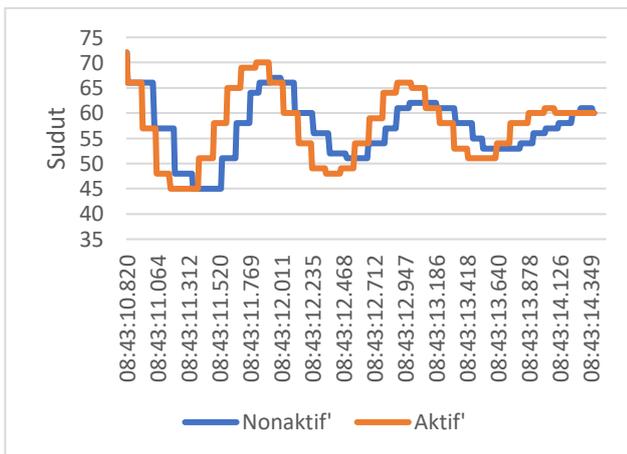
Grafik Gambar 27 merupakan kondisi yang berbeda jika sistem ini di aktifkan maupun nonaktif. Pada sistem aktif kapal mengalami waktu yang cepat dibandingkan dengan sistem nonaktif yang mempunyai waktu 0,518 detik lebih cepat akan tetapi sistem nonaktif lebih stabil atau osilasi lebih rendah daripada sistem aktif, hal tersebut terlihat pada Gambar 27 yang terdapat 2 garis berbeda.



Gambar 25. Grafik Kemiringan Roll 80



Gambar 26. Grafik PWM Dengan Kemiringan Roll 80



Gambar 27. Grafik Aktif Dan Nonaktif

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada sistem yang dibuat dapat disimpulkan bahwa gy-9250 memiliki akurasi memiliki *error* nilai sebesar $0,1^\circ$ sampai $0,4^\circ$ *error* tersebut didapat karena pembulatan angka pada hasil *gyroscope* tersebut, sistem *fuzzy* yang telah dibuat memiliki nilai 0 sampai 90 yang kemudian diskala menjadi 1000 sampai 2000, sistem ini memiliki kecepatan yang lebih cepat 0,518 detik dalam menuju keadaan tunak

(*steady state*) akan tetapi memiliki osilasi yang lebih tinggi. Terdapat perubahan nilai atau pergeseran nilai yang sebenarnya adalah -60° sampai $+60^\circ$ dengan nilai tengah 0° menjadi 0 sampai 120 dengan nilai tengah 60, hal tersebut dikarenakan proses *fuzzy* pada STM32F103 tidak dapat dilakukan jika variabel bernilai negatif (-). Pada kemiringan $+20^\circ$ perputaran PWM tertinggi 1600 μs dengan waktu 9,342 detik untuk menuju *steady state* dan kemiringan $+11^\circ$ dengan PWM tertinggi 1500 μs serta waktu *steady state* 4,335 detik. Apabila ditarik garis besar maka metode *Fuzzy Logic* dapat mengontrol kestabilan kapal *Autonomous Submarine Surface Vehicle*. Untuk meningkatkan hasil yang lebih stabil dapat menambahkan fungsi keanggotaan yang lebih banyak sehingga memiliki data yang lebih halus.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih diucapkan kepada Marine Robot Community yang telah membantu dalam proses penelitian ini. Terimakasih juga kepada tim Aershops yang berperan penting dalam proses penelitian mulai dari awal pengerjaan sampai pengambilan data.

Daftar Pustaka

- [1] A. Vagale, R. Oucheikh, R. T. Bye, O. L. Osen, dan T. I. Fossen, "Path planning and collision avoidance for autonomous surface vehicles I: a review," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 4, hal. 1292–1306, 2021, doi: 10.1007/s00773-020-00787-6.
- [2] Y.-J. Tsai, Chia-Ming and Lai, Yi-Horng and Perng, Jau-Woei and Tsui, I-Fong and Chung, "Design and Application of an Autonomous Surface Vehicle with an AI-Based Sensing Capability," in *Design and Application of an Autonomous Surface Vehicle with an AI-Based Sensing Capability*, 2019, hal. 1–4.
- [3] I. Munadhif, M. Syaini, dan J. Endrasmono, "Penentuan Metode Kendali yang Optimal untuk Kestabilan Rolling Kapal Perang Indonesia," vol. 5, hal. 767–772, 2022.
- [4] Y. Lin, Y. Lin, dan Y. Chiu, "applied sciences Stability and Manoeuvrability Simulation of a Semi-Autonomous Submarine Free-Running Model SUBOFF with an Autopilot System," 2021.
- [5] B. Y. Suprpto, "Desain Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Berbasis Keseimbangan Gyroscope," *J. Surya Energy*, vol. 5, no. 2, hal. 50–54, 2022, doi: 10.32502/jse.v5i2.3328.
- [6] P. V. Patil, K. Khan, M. Korulla, V. Nagarajan, dan O. P. Sha, "Manoeuvring Simulations of Autonomous Underwater Vehicle using Quaternion," vol. 72, no. 2, hal. 290–307, 2022.
- [7] F. S. Rahmanisa, "Analisis Pengaruh Ketinggian Gelombang Terhadap Stabilitas Dan Periode Olang Kapal Bantu Rumah Sakit," Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.ppn.ac.id/id/eprint/2683>
- [8] D. P. Sinaga, E. Susanto, dan R. Nugraha, "Rancang Bangun Kestabilan Posisi Sistem Kendali Manual Robot Kapal Selam Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *e-proceeding Eng.*, vol. 3, no. 1, hal. 129, 2016.
- [9] D. Dimas Debriano, Suwandi, dan R. Fauzi Iskandar, "RANCANG BANGUN KONTROL KESTABILAN STATIS PADA AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC," vol. 5, no. 3, hal. 5857–5864, 2018.
- [10] V. M. Nasution dan G. Prakarsa, "Optimasi Produksi Barang

- Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani,” *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 4, no. 1, hal. 129, 2020, doi: 10.30865/mib.v4i1.1719.
- [11] L. P. Ayuningtias, M. Irfan, dan J. Jumadi, “Analisa Perbandingan Logic Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, Dan Mamdani,” *J. Tek. Inform.*, vol. 10, no. 1, hal. 9–16, 2018.
- [12] K. Fathoni, A. P. Pratama, N. A. Salim, dan V. N. Sulistyawan, “Implementasi Kendali Keseimbangan Gerak Two Wheels Self Balancing Robot Menggunakan Fuzzy Logic,” *J. Tek. Elektro*, vol. 13, no. 2, hal. 89–97, 2021, doi: 10.15294/jte.v13i2.33414.
- [13] D. Syahputra dan Muhathir, “Metode Perhitungan Sugeno Fuzzy Antropometri Dan Status Memprediksi Indeks Gizi Tubuh Massa In Anthropometric Methods,” *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 2, no. 1, hal. 16–22, 2018.
- [14] N. Rinanto, I. Marzuqi, A. Khumaidi, dan S. T. Sarena, “Obstacle Avoidance using Fuzzy Logic Controller on Wheeled Soccer Robot,” *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 5, no. 1, hal. 26–35, 2019, doi: 10.26555/jiteki.v5i1.13298.
- [15] W. S. Pambudi, R. A. Firmansyah, R. R. Issany, R. Y. Adhitya, dan M. Syai’in, “The application of Sugeno fuzzy to control active power load and remaining battery usage time modelling,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 26, no. 3, hal. 1266–1273, 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v26.i3.pp1266-1273.