

Perancangan Sistem Attitude Holding Prototype Autonomous Surface Vehicle Menggunakan Metode ANFIS

Design of Attitude Holding System for Prototype Autonomous Surface Vehicle Using the ANFIS Method

Nurahmad Hadi Cahyadi
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
hadicahyadi30@student.ppps.ac.id

Agus Khumaidi
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
aguskhumaidi@ppns.ac.id

Joko Endrasmono
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
endrasmono@ppns.ac.id

Ryan Yudha Adhitiya
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id

Zindhu Maulana Ahmad Putra
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
zindhu@ppns.ac.id

Dimas Pristovani Riananda
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
dimaspristovani@ppns.ac.id

Diterima : Juni 2024
Disetujui : Juli 2024
Dipublikasi : Juli 2024

Abstrak—Autonomous Surface Vehicle (ASV) adalah kapal permukaan yang dikendalikan tanpa awak, dirancang untuk menjelajahi perairan secara otonom tanpa intervensi manusia langsung. Dalam perkembangannya kapal ASV seringkali mengalami gangguan navigasi waypoint seperti kontrol kecepatan kapal, arah sudut kemudi kapal, dan sistem attitude holding kapal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem attitude holding control pada ASV yang berfokus terhadap sistem kontrol posisi terhadap adanya pergeseran akibat gelombang, arus dan angin ketika ASV sedang menjalankan sebuah misi. Dalam pengembangan sistem cerdas attitude holding control menerapkan dua kontrol yaitu kontrol rotasi dan kontrol translasi. Sistem ini menggunakan sensor CMPS14 untuk mengetahui orientasi kapal dan kecepatan rotasi yang digunakan sebagai variabel kontrol rotasi dan kemudian diintegrasikan dengan data pembacaan GPS Zed F9P GNSS RTK untuk prediksi posisi ASV ketika mendapatkan gangguan eksternal untuk variabel kontrol translasi yang diolah dengan menggunakan algoritma ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) untuk memprediksi respon aktuator dalam mempertahankan heading dan posisi ASV. Model ANFIS yang dirancang pada penelitian ini mampu memprediksi kecepatan bowthruster untuk menjaga heading dengan RMSE sebesar 1,6169%, sementara model ANFIS untuk prediksi nilai Vx dan Vy kapal memiliki RMSE sebesar 0,1857%. Meskipun dipengaruhi oleh variasi data yang tidak linear dan pemilihan tipe MF data, nilai prediksi Vx dan Vy yang dihasilkan oleh model ANFIS mendekati presisi.

Kata Kunci— Attitude Holding Control; Kapal ASV; Model ANFIS.

Abstract—Autonomous Surface Vehicle (ASV) is surface-controlled vessel without a crew, designed to explore waters autonomously without direct human intervention. In its development, ASV ships often experience waypoint navigation

problems such as ship speed controls, ship steering angle direction, and ship holding attitude systems. This research aims to design an attitude control system for an ASV that focuses on a position control system for changes due to waves, currents and wind when the ASV is carrying out a mission. In developing an intelligent attitude control system, two controls are implemented, namely rotation control and translation control. This system uses a CMPS14 sensor to determine the ship's orientation and rotational speed which is used as a rotational control variable and is then synchronized with Zed F9P GNSS RTK GPS data readings to predict the ASV position when it encounters external disturbances for translational control variables which are processed using the ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) to predict the actuator response in maintaining ASV heading and position. The ANFIS model designed in this research is able to predict the bowthruster speed for guarding the post with an RMSE of 1.6169%, while the ANFIS model for predicting ship Vx and Vy has an RMSE of 0.1857%. Although influenced by non-linear data variations and the choice of MF data type, the Vx and Vy prediction value produced by the ANFIS model is close to precise.

Keywords— ANFIS Model; ASV Ship; Attitude Holding Control.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sektor maritim yang terjadi di dunia begitu pesat, salah satunya adalah ASV. Autonomous surface vehicle (ASV) merupakan kapal permukaan dengan kendali tanpa awak yang dirancang memiliki kemampuan untuk menyusuri perairan secara otonom tanpa dikendalikan oleh manusia[1][2]. Kapal ASV dikendalikan melalui sistem komputer yang tertanam algoritma pemrograman didalamnya untuk melakukan manuver secara otomatis, mengambil

sebuah keputusan, dan menyelesaikan misi tertentu tanpa perlu adanya intervensi manusia secara langsung[3]. Dalam pengembangannya, kapal ASV digunakan dalam berbagai bidang misi perairan seperti kebutuhan militer, industri, pariwisata, akuakultur dan penelitian lainnya[4].

Salah satu navigasi yang digunakan kapal ASV adalah navigasi *waypoint*. Navigasi *waypoint* memungkinkan kendaraan untuk beralih dari satu titik ke titik berikutnya sesuai dengan rute yang telah ditetapkan [5]. Ketika bernavigasi untuk menyelesaikan sebuah misi dengan navigasi *waypoint* ASV seringkali mengalami kegagalan navigasi akibat gangguan eksternal, sehingga dibutuhkan beberapa kontrol tambahan diantaranya: kontrol kecepatan kapal, arah sudut kemudi kapal, dan sistem *attitude holding* kapal[6]. Kontrol *attitude holding* pada kapal digunakan untuk mempertahankan posisi kapal ketika memperoleh gangguan eksternal seperti adanya gelombang, arus hingga angin[7]. Salah satu algoritma yang dapat digunakan sebagai metode kontrol posisi ASV dalam mempertahankan posisinya dari gangguan eksternal adalah metode ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) [8]. Metode ANFIS memiliki kemampuan kontrol adaptif sehingga memungkinkan sistem untuk menyesuaikan parameter kontrolnya secara otomatis berdasarkan perubahan dinamika sistem dan lingkungan[9].

Berdasarkan uraian diatas, dalam upaya pengembangan teknologi perkapalan dimasa depan dirancanglah sebuah sistem *attitude holding control* pada ASV yang dapat digunakan pada berbagai misi perairan di Indonesia[10]. Penelitian ini berfokus terhadap sistem kontrol posisi terhadap adanya pergeseran akibat gelombang, arus dan angin ketika ASV sedang menjalankan sebuah misi. Dalam pengembangan sistem cerdas *attitude holding control* menerapkan dua kontrol yaitu kontrol rotasi dan kontrol translasi. Sistem ini menggunakan sensor CMPS14 untuk mengetahui orientasi kapal dan kecepatan rotasi yang digunakan sebagai variabel kontrol rotasi dan kemudian diintegrasikan dengan data pembacaan GPS Ublox Zed F9P GNSS RTK untuk prediksi posisi ASV ketika mendapatkan gangguan eksternal untuk variabel kontrol translasi yang diolah dengan menggunakan algoritma ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) untuk memprediksi respon aktuator dalam mempertahankan *heading* dan posisi ASV. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jarak dan perpindahan ASV serta mampu menentukan respon aktuator agar mampu mengembalikan posisi ASV[11][12].

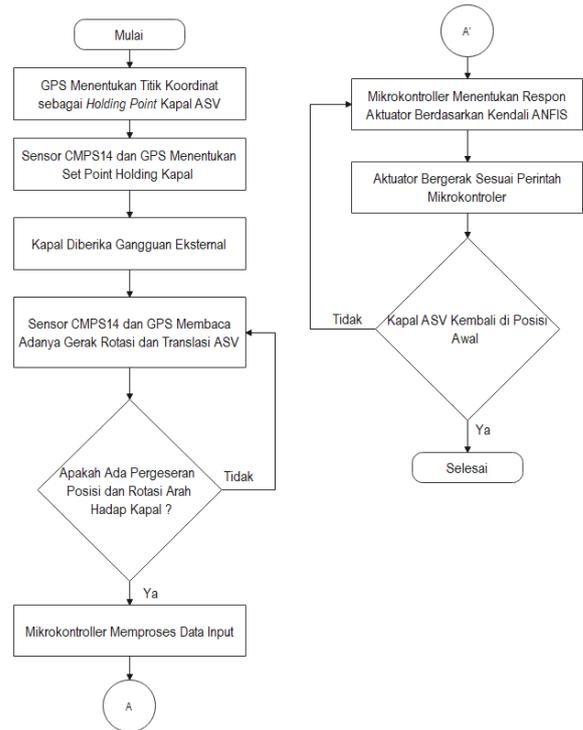
II. METODE

Metode penelitian menggunakan metode eksperimen. Beberapa tahapan yang digunakan pada penelitian ini meliputi perancangan sistem, perancangan *hardware*, perancangan *software*, pembuatan simulasi metode, pengujian sensor dan aktuator, dan analisis data pengujian hingga tahap implementasi pada *prototype* ASV[13].

A. Perancangan Sistem

Tahap perencanaan sistem pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan serangkaian sistem untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Sistem kontrol dirancang menggunakan komponen yang telah ditentukan oleh peneliti berdasarkan proses identifikasi permasalahan dan menganalisa kebutuhan komponen *hardware* maupun

software. *Flowchart* sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Sistem Kontrol Attitude Hold

Secara umum, prinsip ini bekerja pada area *holding point berupa nilai koordinat posisi* yang telah ditetapkan berdasarkan input koordinat GPS. Dan sensor CMPS14 menentukan sudut heading ASV akan mengukur dari adanya pergeseran terhadap bidang planar terhadap gerak rotasi kapal dari setpoint yang sudah ditentukan sebagai input sistem pada penelitian ini. Selanjutnya data input akan diproses oleh mikrokontroler ESP32 dengan menggunakan metode ANFIS untuk menentukan respon aktuator untuk kontrol rotasi dalam mempertahankan sudut heading kapal dengan adaptif. Apabila terjadi pergeseran kapal yang melebihi setpoint maka GPS akan mengukur arah perpindahan dan jarak perpindahan. Untuk menentukan respon kecepatan motor baik V_x maupun V_y pada kontrol posisi pada penelitian ini digunakan metode ANFIS yang selanjutnya di masukkan kedalam program kinematika untuk menentukan respon gerak kapal hingga posisi kapal berada pada setpoint titik holding yang telah ditentukan[14].

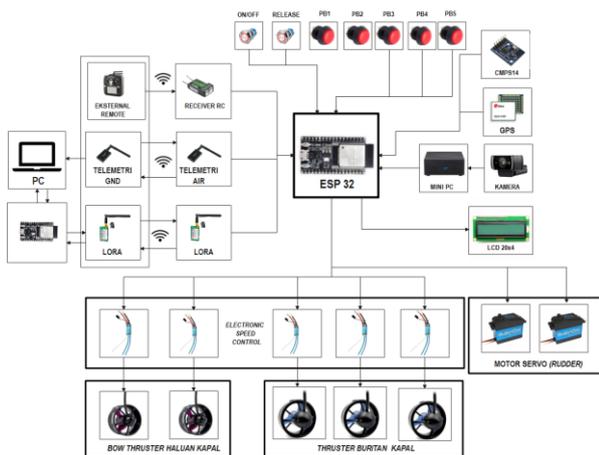
B. Perancangan Hardware

Perancangan desain mekanik prototipe *Autonomous Surface Vehicle (ASV)* terdiri dari desain lambung kapal, rancangan sistem propulsi kapal, dan tata letak komponen penunjang kapal[15]. Visualisasi desain prototipe ASV yang akan dijadikan objek penelitian sistem *attitude holding* menggunakan metode ANFIS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Prototype ASV

Pada penelitian ini input terdiri dari sensor CMPS14, GPS, *push button*, dan *remote control*. Bagian proses dari diagram blok sistem penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai otak kendali dalam melakukan pemrosesan data pembacaan untuk memberikan perintah aktuator berdasarkan input sensor[16]. Serta terhubung modul LoRa untuk mentransmisikan data kepada PC secara *wireless* untuk memudahkan proses analisa dari pengambilan data. Pada bagian *output* diagram penelitian ini terdapat beberapa komponen meliputi *Electronic Speed Control (ESC)* untuk mengendalikan kecepatan putaran *motor thruster*, Motor Servo digunakan untuk mengatur sudut *rudder thruster* kapal ASV dan PC untuk menampilkan nilai pembacaan sensor secara jarak jauh menggunakan modul LoRa untuk memudahkan proses pengambilan data dan proses validasi. Rancangan hardware pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



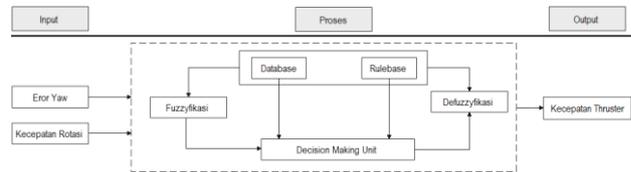
Gambar 3. Rancangan Hardware Prototype ASV

Input sensor CMPS14 pada penelitian ini berfungsi untuk mengukur pembacaan rotasi sudut (*yaw*) heading kapal dan akan diproses oleh mikrokontroler ESP32. Input GPS berfungsi sebagai penentu *holding point* untuk aktivasi sistem *attitude holding* kontrol kapal ASV dan menghitung jarak dan arah translasi dari titik holding yang telah ditentukan. *Input push button* pada kapal digunakan sebagai sistem *on* atau *off* kapal sedangkan *input remote control* digunakan sebagai sistem *switch* pergantian mode kendali manual dan *holding* juga sebagai perangkat kendali ketika *emergency*.

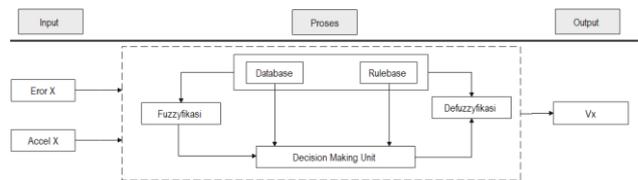
C. Perancangan Software

Penerapan algoritma ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) dalam memprediksi orientasi dan posisi kapal akibat adanya gangguan eksternal sehingga dapat menentukan respon kinematik untuk mengembalikan posisi dan heading awal kapal. Input pemodelan ANFIS merupakan pembacaan nilai *error heading* dan kecepatan rotasi dari

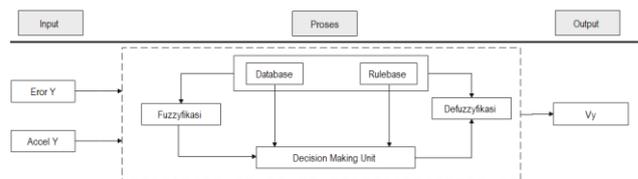
kapal guna memprediksi respon kecepatan V_{yaw} dari kapal. Sedangkan input dari penerapan metode ANFIS yang digunakan pada kontrol posisi menggunakan nilai error X dan percepatan X untuk memprediksi nilai V_x sedangkan variabel error Y dan percepatan Y digunakan untuk memprediksi nilai V_y dari kapal dan diproses untuk menentukan respon penggerak kapal untuk mengembalikan posisi awal saat *holding*. Diagram blok penerapan metode ANFIS pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. ANFIS Kontrol Vyaw



Gambar 5. ANFIS Kontrol Vx



Gambar 6. ANFIS Kontrol Vy

RMSE pada dunia Geosciences sering digunakan sebagai standar pengukuran model error[17]. Dalam beberapa studi mengenai model sensitivitas yang hanya menggunakan RMSE, interpretasi yang rinci tidak terlalu penting dikarenakan variasi model yang sama akan memiliki distribusi kesalahan yang serupa. Sehingga semakin kecil nilai yang dihasilkan maka semakin baik hasil peramalan yang dihasilkan. Dengan memberikan bobot yang lebih tinggi dalam mengungkapkan perbedaan kinerja model ANFIS. Perancangan model ANFIS pada penelitian ini menggunakan bantuan tools matlab hingga mendapatkan model terbaik untuk sistem agar implementasi pada hardware memiliki hasil yang sesuai dengan yang diharapkan[18].

D. Pengujian Sensor dan Aktuator

Pengujian sensor penelitian ini dijadikan parameter dalam mengukur setiap variabel yang dibutuhkan. Sensor digunakan yaitu sensor CMPS14 dan GPS ZED F9P. Setiap sensor yang digunakan memiliki fungsi yang berbeda sehingga membutuhkan alat ukur yang berbeda untuk memvalidasi hasil pembacaannya. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan pengujian aktuator berupa motor BLDC *thruster* dan motor servo digunakan sebagai perangkat aktuator yang akan menggerakkan ASV untuk mempertahankan heading dan posisinya ketika mendapatkan gangguan eksternal. Proses pengujian motor servo dan motor thruster digunakan dengan memberikan input nilai PWM

melalui *remote control* yang kemudian *output*-nya divalidasi menggunakan alat ukur berupa busur untuk sudut servo dan *tachometer* untuk kecepatan motor thruster[19].

E. Analisis Data Pengujian

Analisa dan pembahasan kinerja *hardware* dan *software* dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang di integrasikan sudah mampu berjalan sesuai dengan perencanaan[20]. Apabila masih mendapatkan masalah yang menghambat performa jalannya sistem, maka dapat ditentukan langkah selanjutnya untuk melakukan perbaikan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

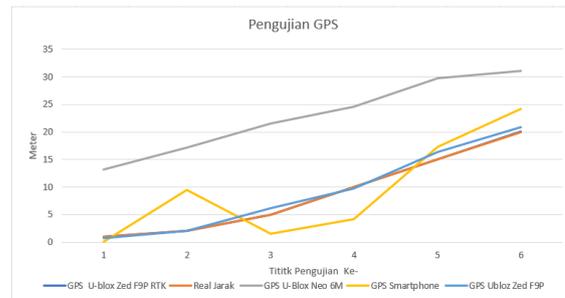
A. Hasil Pengujian Sensor

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui akurasi pembacaan kompas atau rotasi terhadap sumbu z yang dilakukan dengan cara membandingkannya dengan kompas digital yang ada pada smartphone, data pembacaan rotasi sumbu z ditampilkan pada serial monitor Arduino IDE. Hasil pengujian sensor CMPS14 ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. HASIL PENGUJIAN SENSOR CMPS14

PENGUJIAN KE-	KOMPAS DIGITAL	SENSOR CMPS14	% EROR
1	0	0	0,00
2	5	5	0,00
3	15	15	0,00
4	30	30	0,00
5	45	45	0,00
6	65	65	0,00
7	80	81	1,25
8	90	90	0,00
9	105	107	0,71
10	145	145	0,00
11	160	161	0,62
12	180	180	0,00
13	195	195	0,00
14	215	215	0,00
15	235	235	0,00
16	260	259	0,38
17	270	270	0,00
18	300	300	0,00
19	330	330	0,00
20	360	360	0,00
RATA-RATA % EROR			0,14%

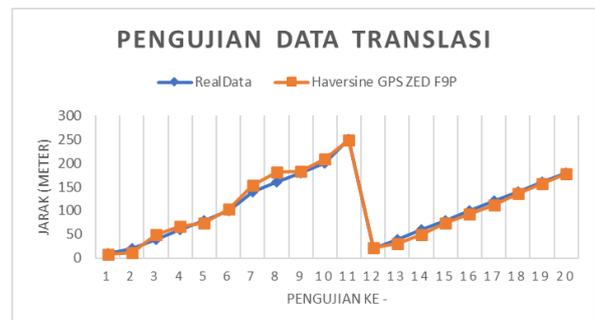
Berdasarkan hasil pengujian terhadap sensor untuk pembacaan *rotasi yaw* dengan 20 variasi pengujian bahwa tidak ditemukan nilai eror pada pembacaan sensor tersebut atau nilai eror sama dengan 0,14%. Untuk mengetahui jarak atau selisih dari pengukuran akurasi GPS U-Blox Zed F9P GNSS RTK dibutuhkan perhitungan dengan persamaan Haversin. Persamaan Haversine merupakan persamaan membandingkan dua titik pada permukaan bola (bumi) berdasarkan lintang dan garis bujur yang kemudian menghasilkan jarak terpendek antara dua titik tersebut. Hasil perhitungan selisih yang dihasilkan dari perbandingan antara Modul GPS U-Blox F9P GNSS RTK dengan Google Maps pada titik A hingga titik D ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 7 Hasil Pengujian Performa GPS Ublox Zed F9P

Berdasarkan hasil pengujian GPS yang ditunjukkan pada Gambar 6, aktivasi jaringan RTK pada modul GPS U-Blox Zed F9P memiliki pengaruh besar terhadap pembacaan posisi pada modul. Terlihat pada grafik yang disajikan pada Gambar 4.9 bahwa pembacaan modul GPS U-Blox Zed F9P GNSS RTK memiliki ketelitian hingga ke satuan sentimeter dengan hasil eror nilai pengukuran 1 sentimeter hingga 6 sentimeter dimana pembacaan ini sudah sesuai dengan yang ditulis pada datasheet bahwa aktivasi jaringan RTK (*Real Time Kinematic*) memberikan pengaruh yang besar terhadap peningkatan akurasi pembacaan posisi GPS. Pada pengukuran akurasi GPS Ublox Zed F9P yang belum dikonfigurasi dengan jaringan RTK memiliki rata-rata eror diangka 68 sentimeter dan meningkat dengan signifikan ketika sudah dikonfigurasi dengan menggunakan jaringan RTK dengan hasil rata rata eror mencapai 3,3 sentimeter.

Modul GPS yang tertanam pada prototipe *Autonomous Surface Vehicle (ASV)* pada penelitian ini juga berfungsi untuk menentukan *holding point*, jarak translasi terhadap axis X dan Y serta arah perpindahannya (*azimuth*). Untuk menentukan jarak translasi dapat dihitung menggunakan persamaan Haversine dan menentukan arah dari perpindahan dapat dihitung menggunakan persamaan Trigonometri dari nilai *latitude* dan *longtitude* yang diperoleh dari titik holding dan titik posisi yang terus diperbarui sebagai objek perpindahannya. Persamaan Haversine dan Trigonometri yang telah dijelaskan sebelumnya akan dikonversi kedalam bahas pemrograman C++ yang kemudian nilai jarak dan arah perpindahan akan diproses oleh mikrokontroler sebagai variabel kontrol dalam penelitian ini. Berikut merupakan hasil dari konversi rumus Haversine dan Trigonometri dalam program C++. Kemudian dilakukan pengujian pada 20 titik perpindahan dengan hasil ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Pengujian Program Haversine

Hasil dari pengujian modul GPS menunjukkan bahwa nilai rata-rata eror yang dihasilkan kurang dari 5%

sehingga program pembacaan translasi yang diperoleh dari modul GPS Ublox Zed F9P GNSS RTK berfungsi dengan baik. Penggunaan GPS dengan tipe tersebut karena kemampuannya dalam mengukur dan mengetahui posisi objek hingga eror satu sentimeter.

B. Pengujian Aktuator

Pengujian motor *thruster* BLDC pada penelitian ini dilakukan pada motor *thruster* Blue Robotics T200 yang digunakan sebagai penggerak *rudder thruster* dan pengujian motor juga dilakukan pada *bow thruster* dengan *input* nilai PWM dengan suplai daya berupa tegangan sebesar 16V DC. Saat motor mulai berputar akan diawali dengan pengukuran jumlah RPM menggunakan *tachometer* untuk memastikan kelayakan dari motor *thruster* BLDC. Sebelum dilakukan uji coba menggunakan perangkat RC, motor *thruster* BLDC divalidasi terlebih dahulu bahwa komponen tersebut bekerja dengan baik sesuai dengan spesifikasi teknis yang tertera. Pada nilai *input* PWM maksimal yaitu 1900us dapat berputar sebesar 3533 RPM dengan suplai tegangan sebesar 16VDC, sehingga dapat dihitung secara matematis dengan menggunakan konsep perbandingan sebagai berikut.

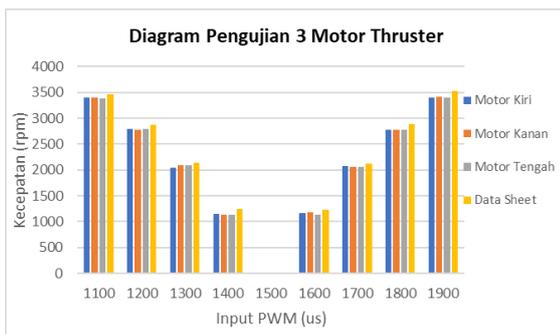
$$RPM = \frac{1800 \mu s}{1900 \mu s} \times 3533 \text{ RPM} = 3347 \text{ RPM} \quad (1)$$

Tahap berikutnya dilakukan uji coba fisik pada *hardware* untuk mengetahui kelayakan dari motor *thruster* Blue Robotics T200 dengan cara menganalisis presentase eror antara besaran nilai RPM yang ada pada *datasheet* dengan pengukuran RPM menggunakan alat ukur *tachometer*. Pengujian motor *thruster* dilakukan seperti Gambar 8.

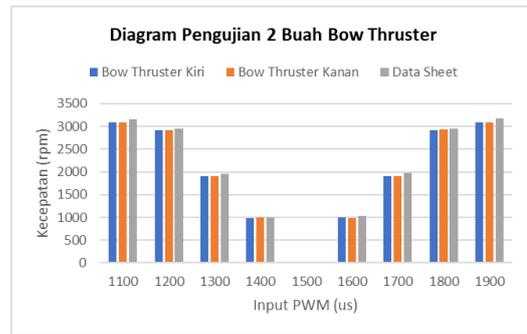


Gambar 9. Pengujian Motor Thruster

Hasil dari pengujian motor *thruster* yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Adapun hasil dari pengujian yang dilakukan pada lima motor *thruster* dengan tiga buah motor *thruster* T200 Blue Robotics sebagai pendorong dan dua mini *thruster* yang digunakan sebagai *bow thruster* pada prototipe ASV.



Gambar 10. Hasil Pengujian 3 Motor Thruster T-200



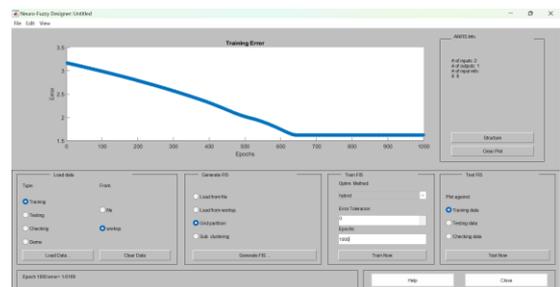
Gambar 11. Hasil Pengujian Motor Bow Thruster

Berdasarkan pengujian tiga motor *thruster* Blue Robotics T200 dengan sistem *input* PWM seperti Gambar 9 dan pengujian dua buah *bow thruster* yang disajikan pada Gambar 10 menggunakan perangkat *Remote Control* (RC) yang digunakan pada sistem propulsi prototipe ASV. Hasil pengujian presentase eror pada kelima motor tidak lebih dari 5% sehingga kelima penggerak berupa motor *thruster* yang digunakan ASV dapat dikatakan layak digunakan.

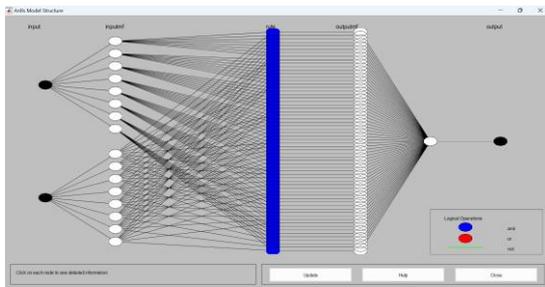
C. Pemodelan Metode ANFIS

Pemodelan metode ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) memiliki tujuan untuk mengukur kinerja model ANFIS pada *training* data dan mengevaluasi sejauh mana model ANFIS memahami model dari relasi antara variabel *input* dan *output*. Pengujian ini dapat membantu sejauh mana model dapat memodelkan pola data yang ada dalam data *training*. Tahap pertama yang dilakukan dalam pengujian metode ANFIS yaitu dengan data *training* diambil dari hasil pengujian sensor CMPS14 dan GPS Ublox Zed F9P untuk mengetahui rotasi dan translasi kapal dalam beberapa variasi gangguan sebagai *input*.

Output yang dihasilkan berupa nilai PWM masing masing motor dengan menggunakan data *artificial* yang merepresentasikan variasi gangguan yang digunakan sebagai kontrol rotasi. Dan *output* prediksi nilai V_x dan V_y digunakan pada kontrol posisi ASV juga didapatkan dari data *artificial* melalui percobaan menggerakkan kapal dengan menggunakan *remote control*. Tahap berikutnya memasukkan variabel nilai *error yaw*, percepatan rotasi, nilai *error X* dan nilai *error Y* hingga percepatan X, Y yang dibagi menjadi 2 model ANFIS yaitu model ANFIS kontrol rotasi dan ANFIS model kontrol posisi. Berikut merupakan hasil pengujian data *training* pada model ANFIS pertama untuk memprediksi kecepatan V_{yaw} dalam mempertahankan heading ASV.

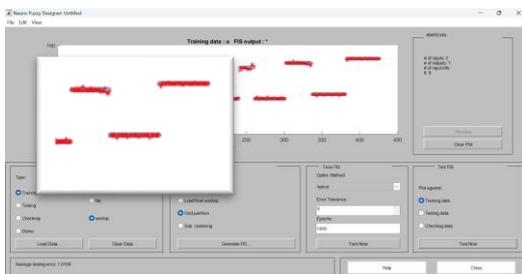


Gambar 12. Hasil Training Model ANFIS Kontrol Rotasi



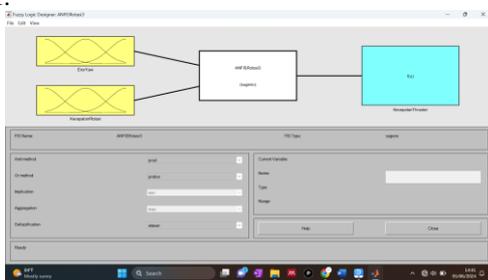
Gambar 13. Struktur Model ANFIS Kontrol Rotasi

Struktur model ANFIS ketika dimasukkan nilai input berupa nilai *error heading* (*yaw*) dan kecepatan rotasi pada model ANFIS untuk kontrol rotasi. Dengan masing-masing terdiri dari 8 *membership function*. Terdapat 64 buah dengan operator n . ANFIS kontrol rotasi memiliki 1 output mf yang terbentuk sebanyak 64 buah. Dimana Grid Partition dengan memasukkan input MF (*membership function*) [8, 8] dan menggunakan type trimmf pada masing masing input 1 dan input 2. Output yang dimasukkan ke generated FIS menggunakan MF type constant. Hasil dari pemodelan dan training hasil testing mode dilakukan pengujian hasil training dengan data sensor pada hasil pengujian untuk mengetahui ketepatan prediksi metode ANFIS. Berikut merupakan hasil training metode ANFIS dari model kontrol rotasi dari hasil pengujian data training pada model ANFIS kontrol rotasi yang telah dibuat memiliki nilai RMSE sebesar 1,6169 %

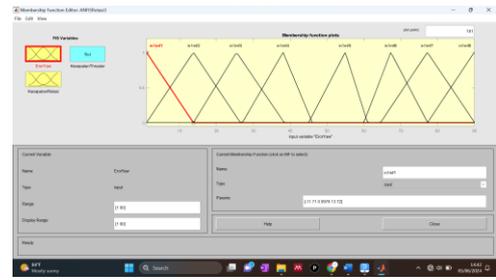


Gambar 14 Testing Data Training ANFIS Kontrol Rotasi

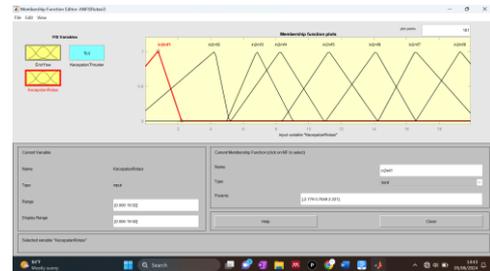
Dari pembuatan model ANFIS kontrol rotasi yang telah dibuat menghasilkan *Fuzzy Inference System* (FIS) yang terbentuk secara otomatis yang memuat dua buah input dengan masing masing input memiliki 8 *membership function* atau mf.



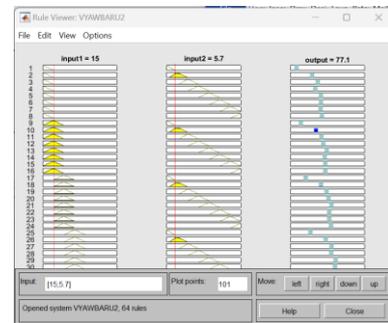
Gambar 15. Fuzzy Inference System (FIS) Rotasi



Gambar 16 Memberships function (Mf) Input 1 Error Yaw



Gambar 17. Memberships Function (MF) Input 2 Kecepatan Rotasi



Gambar 18. Rules View FIS Rotasi

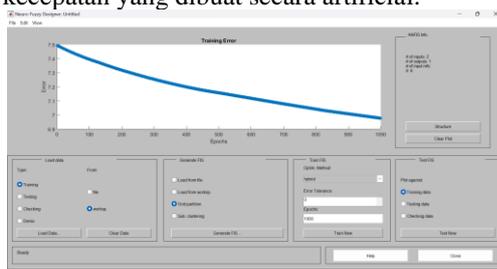
Data training yang digunakan pada ANFIS kontrol rotasi pada sistem *attitude holding* pada prototipe *Autonomous Surface Vehicle* (ASV) merupakan dua buah input yaitu input pertama merupakan nilai *error absolute heading* kapal dan nilai *absolute* kecepatan rotasi kapal (*gyroZ*) dengan nilai *output range* kecepatan sehingga dihasilkan hasil simulasi gangguan rotasi yang menyebabkan nilai *error heading* 15 derajat dan kecepatan rotasi 5,6 menghasilkan kecepatan output 77,1. Berikut merupakan hasil simulasi rule view *Fuzzy Inference System* (FIS) yang dihasilkan oleh model ANFIS kontrol Rotasi.

TABEL 2. HASIL RELE VIEWS ANFIS KONTROL VYAW

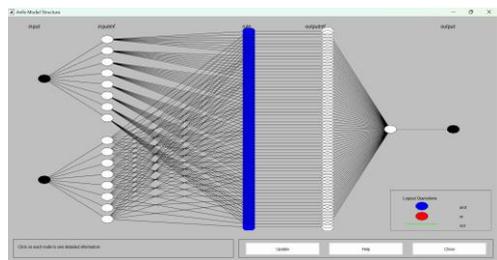
No	Input 1 (Error Yaw)	Input 2 (Kecepatan Rotasi)	Output Testing (Rule FIS)
1	10	2,5	38,6
2	12	4,9	68,4
3	14	5,1	77,1
4	15	5,7	77,1
5	17	8,0	79,2
6	23	11,5	94,1
7	28	15,7	106
8	30	12,5	104
9	48	13,8	125

No	Input 1 (Error Yaw)	Input 2 (Kecepatan Rotasi)	Output Testing (Rule FIS)
10	51	16,2	130
11	54	12,6	128
12	55	13,8	133
13	60	14,5	141
14	67	18,3	150
15	70	15,2	153
16	75	19,1	159
17	77	12,4	154
18	79	11,7	153
19	84	19,6	145
20	90	22,0	145

Berikutnya adalah pembuatan model *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk melakukan prediksi posisi translasi ASV apabila terkena gangguan secara eksternal dengan menggunakan variabel kontrol berupa nilai error posisi X dan percepatan X untuk menentukan nilai Vx sedangkan nilai error posisi Y dan percepatan Y digunakan untuk menentukan nilai Vy dengan output kecepatan yang dibuat secara artificial.

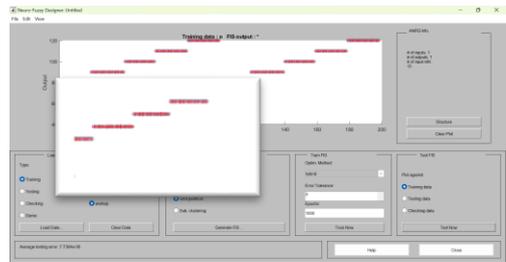


Gambar 19. Training Test ANFIS Kontrol Vx dan Vy

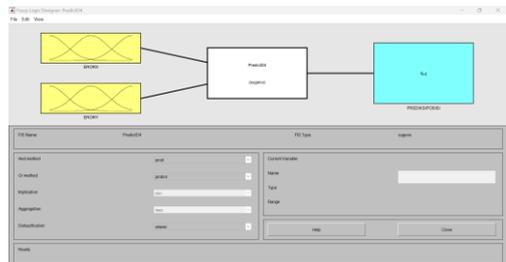


Gambar 20. Structure Model ANFIS Prediksi Posisi ASV

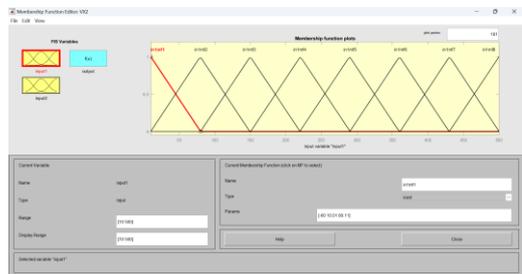
Pada model ANFIS kontrol translasi memiliki nilai RMSE sebesar 0,1857 %. Nilai RMSE yang dihasilkan oleh model ANFIS dipengaruhi oleh variasi data yang tidak linear dan pemilihan tipe MF data yang dipilih berdasarkan trial dan error. Dimana pada penelitian ini telah dipilih tipe MF dengan nilai RMSE terkecil dari masing masing model yaitu dengan tipe TrimMf.



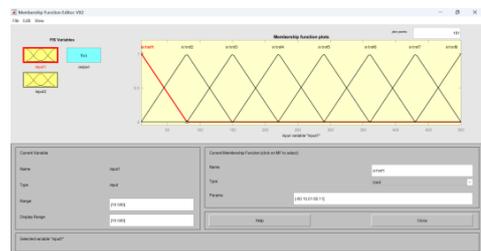
Gambar 21. Testing Data Training ANFIS Vx dan Vy



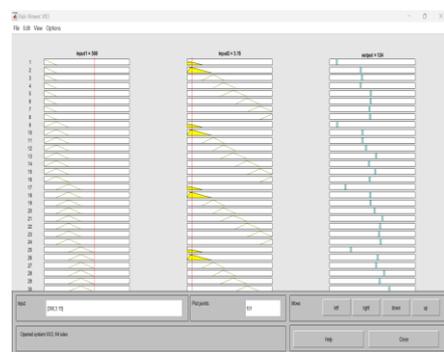
Gambar 22. FIS Properties Prediksi Posisi



Gambar 23. Input Mf Error Posisi



Gambar 24. Input Mf Nilai Percepatan



Gambar 25. Rules View Fuzzy Nilai Vx

Sedangkan data training ANFIS yang digunakan pada kontrol translasi menggunakan nilai *error* posisi X dan Y yang diperoleh dari pembacaan GPS *Ublox Zed F9P* ketika mendapatkan gangguan. Sedangkan nilai percepatan X dan Y diperoleh dari pembacaan sensor *CMPS14*. Dari pemodelan ANFIS yang telah dibuat telah menghasilkan rules dan telah disimulasikan sebagai contoh ketika ASV mendapatkan gangguan error posisi X sebesar 300 sentimeter

dan nilai percepatan X sebesar 3.15 maka hasil prediksi ANFIS memperkirakan kecepatan Vx yang dihasilkan sebesar 124.

TABEL 3. HASIL RELE VIEWS ANFIS MODEL PREDIKSI POSISI

No	Input 1 (Error Posisi X)	Input 2 (Error Posisi Y)	Output Testing (Rule FIS)
1	15	0,02	61,2
2	20	0,03	61,4
3	25	0,04	61,6
4	30	0,05	61,9
5	35	0,06	82,1
6	40	0,07	82,4
7	60	3,34	100
8	65	4,98	102
9	70	2,35	100
10	75	4,52	101
11	80	3,79	101
12	85	2,19	101
13	90	4,41	103
14	95	2,64	102
15	275	4.31	122
16	280	3.58	122
17	285	2.10	122
18	290	4.36	123
19	295	2.55	123
20	300	3.15	124

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan model *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang telah dirancang dalam melakukan prediksi kecepatan bowthruuster untuk menjaga heading memiliki nilai RMSE 1,6169 % dengan respon yang lebih adaptif dibandingkan data referensi kecepatan yang diberikan. Sedangkan model ANFIS yang dihasilkan oleh pada sistem prediksi nilai Vx dan Vy pada kontrol posisi ASV memiliki nilai 0,1857 %. Nilai RMSE yang dihasilkan oleh model ANFIS dipengaruhi oleh variasi data yang tidak linear dan pemilihan tipe MF data yang dipilih berdasarkan trial dan eror. Penerapan metode ANFIS dalam penentuan nilai kecepatan pada penelitian ini mampu memberikan respon kontrol yang adaptif dan efisien dalam penerapannya.

REFERENSI

[1] R. Fauzi, I. Jaya, and M. Iqbal, "Unmanned Surface Vehicle (USV) performance test in Bintan Island Waters," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 944, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/944/1/012013.

[2] M. T. Hafizh, "Rancang Bangun Sistem Propulsi Autonomous Submarine Surface Vehicle (Assv) Pada Kontes Kapal Cepat Tak Berawak Nasional (Kkctbn) Menggunakan Metode Pid," 2023.

[3] A. M. Triezani and D. A. Jatmiko, "Rancang Bangun

Unmanned Surface Vehicle (USV) Dengan Sistem Navigasi Berbasis Kompas Dan Estimasi A-GPS," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 23–36, 2021, doi: 10.34010/telekontran.v9i1.5607.

[4] D. G. Pratomo, A. Rahmadiansah, M. N. Cahyadi, I. M. Anjasmara, K. Khomsin, and F. S. Adi, "Geomarine 1: Autonomous Usv (Unmanned Surface Vehicle) Untuk Mendukung Survei Hidro-Oceanografi," *Geoid*, vol. 13, no. 2, p. 200, 2018, doi: 10.12962/j24423998.v13i2.4252.

[5] M. N. Cahyadi, T. Asfihani, R. Mardiyanto, and R. Erfianti, "Performance of GPS and IMU sensor fusion using unscented Kalman filter for precise i-Boat navigation in infinite wide waters," *Geod. Geodyn.*, vol. 14, no. 3, pp. 265–274, 2023, doi: 10.1016/j.geog.2022.11.005.

[6] Patih Riau Agung Purba, Emil Syam, and Umi Salamah, "Perancangan Sistem Kendali Manuver Otomatis Berbasis Logika Fuzzy Pada Pc-40 Guna Mengatasi Human Error," *Saintek J. Sains Teknol. dan Profesi Akad. Angkatan Laut*, vol. 13, no. 2, pp. 1211–1240, 2021, doi: 10.59447/saintek.v13i2.53.

[7] H. J. Cho, S. K. Jeong, D. H. Ji, N. H. Tran, M. T. Vu, and H. S. Choi, "Study on control system of integrated unmanned surface vehicle and underwater vehicle," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 9, pp. 1–22, 2020, doi: 10.3390/s20092633.

[8] T. Huda, "Desain Dan Analisa Motion Control Pada Auv Menggunakan Kendali Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS)," 2019.

[9] L. Wang and S. Pang, "An Implementation of the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Odor Source Localization," *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, no. MI, pp. 4551–4558, 2020, doi: 10.1109/IROS45743.2020.9341688.

[10] S. A. Rofiq, R. Effendie, and A. Sulisetyono, "Perancangan Sistem Pengaturan Kestabilan Autonomous Underwater (AUV) untuk Gerak Lateral Menggunakan Sliding Mode Control (SMC)," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. G19–G24, 2014.

[11] E. Irmawan and E. Eko Prasetyo, "Kendali Adaptif Neuro Fuzzy PID untuk Kestabilan Terbang Fixed Wing UAV (Adaptive Control of Neuro Fuzzy PID for Fixed Wing UAV Flight Stability)," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 1, pp. 73–78, 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i1.142.

[12] I. Sulaeman, A. W. Dani, and T. Pangaribowo, "Analisa Inverse Kinematics Pada Prototype 3-DoF Arm Robot Dengan Metode Anfis," *J. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 1, p. 14, 2022, doi: 10.22441/jte.2022.v13i1.003.

[13] W. Naeem, T. Xu, R. Sutton, and A. Tian, "The design of a navigation, guidance, and control system for an unmanned surface vehicle for environmental monitoring," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.*, vol. 222, no. 2, pp. 67–79, 2008, doi: 10.1243/14750902JEME80.

[14] M. Fikri and M. Rivai, "Sistem Penghindar Halangan dengan Metode Lidar pada Unmanned Surface Vehicle," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. 127–132, 2020,

doi: 10.12962/j23373539.v8i2.43153.

- [15] M. S. Pratomo *et al.*, “Rancang Bangun Sistem Stabilizer Rolling Kapal,” 2018.
- [16] N. K. Nento, B. P. Asmara, and I. Z. Nasibu, “Rancang Bangun Alat Peringatan Dini Dan Informasi Lokasi Kebakaran Berbasis Arduino Uno,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–18, 2021, doi: 10.37905/jjee.v3i1.8339.
- [17] I. Wiranto, W. Ridwan, and Y. Kadir, “Algoritma Hibrid Extended Kalman Filter dan Inferensi Fuzzy untuk Penjejukan Target Bermanuver,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 148–153, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.14121.
- [18] W. Ridwan, Y. Kadir, and I. Wiranto, “Optimisasi Koloni Semut dan Sistem Fuzzy untuk Kendali Lampu Lalu Lintas Pintar,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 182–188, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.14473.
- [19] E. M. Punduh, “Rancang Bangun Sensor Parkir Kendaraan Roda Empat Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 18–24, 2024, doi: 10.37905/jjee.v6i1.22171.
- [20] R. S. Widagdo, B. Hariadi, and I. A. Wardah, “Simulation of Speed Control on a PMSM Using a PI Controller,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 63–69, 2024, doi: 10.37905/jjee.v6i1.22287.