

PERANCANGAN SISTEM KENDALI MANUVER OTOMATIS BERBASIS LOGIKA FUZZY PADA PC-40 GUNA MENGATASI *HUMAN ERROR*

Patih Riau Agung Purba*), Emil Syam**), Umi Salamah***)

*) Taruna Akademi Angkatan Laut Angkatan 66 Korps Mesin

**) Dosen Program Studi Teknik Mesin Kapal Perang

***) Dosen Program Studi Teknik Mesin Kapal Perang

ABSTRACT

Warships of the Republic of Indonesia (KRI) have the task of securing the waters of the Republic of Indonesia from disturbances and threats from outside and within the country. The application of current technology allows the KRI to be able to carry out its main tasks. The design of an automatic maneuver control system based on fuzzy logic by utilizing the Global Positioning System (GPS) as a ship positioning module. All ship trajectory data input will be entered into the system and will be processed by the ESP8266 microcontroller module. This fuzzy logic is taken to overcome disturbances that occur during the voyage which can disrupt the stability and position in the ship, so that when experiencing disturbances the ship will remain in a stable condition and position the specified shipping trajectory. This system is designed using the programming language in the Arduino IDE application and has been tested. From the results of this study, it was found that the working mechanism of the system starts when the ship is on a voyage by entering the target point in the form of GPS coordinates, the system will calculate the distance automatically and the GPS sensor will provide data on the ship's position, when the ship experiences disturbance, the gyro sensor will give a signal. then the system produces output in the form of a rudder change command. This automatic maneuvering system can overcome human error and has an error tolerance of ± 2.46 m. A further development, a data logger data collection system can be added so that it can be used as a reference when a failure occurs, and before being implemented further research is carried out by the Indonesian Navy Research and Development Service.

Keywords: Automatic, Fuzzy Logic, GPS, Microcontroller.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Satuan Kapal Patroli (Satrol) adalah satuan kerja dibawah komando Pangkalan Utama TNI-AL (Lantamal) dimana bertujuan untuk membantu pelaksanaan tugas pokok Lantamal untuk melaksanakan pembinaan kekuatan dan kemampuan guna

menyelenggarakan dukungan logistik dan administrasi bagi unsur-unsur TNI AL, menyelenggarakan patroli keamanan laut di wilayah kerja Lantamal, dan melaksanakan pemberdayaan wilayah pertahanan laut di wilayah kerjanya.

Satrol memiliki beberapa tipe kapal salah satunya adalah tipe Patroli Cepat

40 meter (PC-40). KRI Krait-827 adalah kapal pertama diproduksi dari Fasharkan TNI AL Mentigi dan dibangun bekerja sama dengan PT BES Batam pada tipe ini. KRI Krait-827 berada dibawah Lantamal I Belawan dimana memiliki dimensi panjang kapal 40 meter dengan lebar 7 meter. Badan kapal terbuat dari aluminium alloy. Kapal ini mampu berlayar mencapai kecepatan maksimal 20 knot didorong oleh 2 buah mesin diesel 1250 HP. KRI dengan tipe PC-40 difungsikan untuk melaksanakan tugas operasi patroli laut untuk menjaga keamanan wilayah laut dari kapal asing yang melintas ataupun bahkan mencuri sumber daya laut Indonesia terutama di alur-alur sempit. Dalam melaksanakan tugas patrolinya maka kapal ini harus memiliki kemampuan *maneuvering* yang lincah.

Namun pada saat ini dalam melaksanakan manuver kapal masih banyak ancaman yang mungkin terjadi seperti tabrakan kapal dan kapal karam yang salah satu penyebabnya adalah *human error*. Salah satu jenis *human error* yang dapat mengakibatkan kecelakaan saat manuver adalah kesalahan dalam menentukan posisi kapal, kecakapan dalam melakukan pembaringan posisi kapal yang memakan waktu dan juga kesalahan dalam menentukan kondisi alam, yang

mengakibatkan terjadinya kecelakaan saat melakukan pelayaran. Untuk itu mempelajari penelitian sebelumnya yang dilaksanakan pihak luar baik dalam negeri maupun luar negeri dan juga mengikuti kemajuan teknologi saat ini, maka penulis akan menjadikan dasar permasalahan untuk membuat perancangan sistem kendali manuver otomatis untuk kapal PC-40 dengan skala laboratorium/alat peraga.

1.2 Rumusan Permasalahan.

Rumusan Masalah dalam tulisan ini yaitu:

Bagaimana proses perancangan sistem kendali manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* agar dapat menentukan posisi dan olah gerak kapal secara otomatis dan mengurangi *human error* saat pelayaran?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan merubah sistem penentuan posisi dan manuver kapal dari manual menjadi otomatis, untuk membuat pemodelan dari sistem kendali manuver otomatis pada KRI jenis Patroli Cepat 40 M (PC-40) berbasis Logika *Fuzzy* dan menganalisa dampak dari penerapan sistem kendali manuver otomatis terhadap pengurangan *human error* ketika bermanuver.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan Terdahulu.

a. Milatina, Nur Okta (2016), pada skripsinya yang berjudul Perancangan Sistem Kendali Manuver Otomatis

Kemudian dalam merancang sistem auto pilotnya menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy* (KLF). Selanjutnya dalam simulasi ini menggunakan data teknis kapal menggunakan metode Nomoto Orde II dengan dibantu pemodelan gangguan arus laut. Keterkaitan penelitian dengan yang dilaksanakan penulis terletak pada konsepsi mengenai kontrol sistem manuver yang dilaksanakan secara otomatis, dimana kontrol sistem manuver otomatis tersebut dengan menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy* (KLF). (Milatina, 2016)

b. Fahmi, Wahyu Hidayat (2011), pada skripsinya yang berjudul Desain Sistem Kontrol Autopilot Menggunakan GPS Pada Kapal. Metode Penelitian yang digunakan adalah metode perancangan yang dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Pada penelitiannya penulis bertujuan memperkenalkan cara menentukan posisi kapal dengan menggunakan alat navigasi berupa GPS. Keterkaitan peracana dengan yang dilaksanakan oleh penulis terletak pada

Berbasis Logika *Fuzzy* untuk Anti Tabrakan Kapal berdasarkan Nilai DCPA-TCPA. Metode Penelitian yang digunakan adalah metode konsepsi atau perancangan yang dilakukan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

penggunaan GPS untuk menentukan posisi kapal, dimana dengan demikian ketika melaksanakan pelayaran dapat dilakukan secara *autopilot*. (Hidayat et al., 2011)

c. Rahman (2008), pada skripsinya yang berjudul Otomatisasi Parkir Kendaraan Berbasis Mikrokontroler AT89S51. Metode penelitian yang digunakan adalah metode perancangan yang dilaksanakan di Universitas Islam Negeri, Malang. Pada penelitiannya penulis menggunakan Mikrokontroler sebagai perangkat inti sistem otomatisasi, mempelajari dasar pemrograman mikrokontroler, mengenalkan bagian dan fungsi mikrokontroler dan membuat blok diagram pada Mikrokontroler AT89S51. Dengan hasil Mikrokontroler AT89S51 dapat dimanfaatkan untuk otomatisasi proses parker kendaraan serta sistem otomatisasi bekerja sesuai dengan sistem yang dibuat. Keterkaitan peracangan ini dengan peracangan yang akan dilaksanakan oleh penulis berada pada penggunaan

mikrokontroler sebagai perangkat penunjang otomatisasi sistem, dengan perbedaan dari skripsi sebelumnya yaitu penggunaan Mikrokontroler kali ini digunakan pada otomatisasi sistem manuver otomatis pada kapal. (Rahman, 2008)

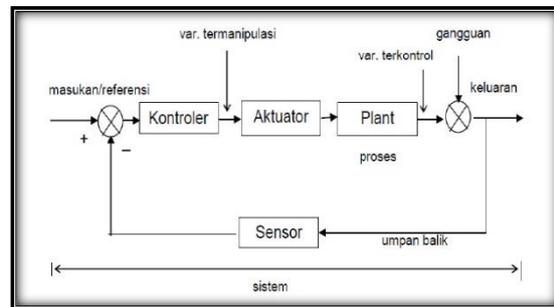
2.2 Teori yang Relevan.

a. Teori sistem Pengendalian / Kontrol mesin.

Sistem kontrol sebagai suatu kumpulan cara dan atau metode yang diambil dari kebiasaan manusia dalam bekerja, dimana manusia juga membutuhkan sebuah pengamatan kualitas dari hal yang telah mereka kerjakan sehingga memiliki ciri khas atau karakteristik sesuai dengan yang diharapkan pada awalnya. (Triwiyatno, 2017)

Jadi dapat penulis artikan bahwa sistem pengendalian atau kontrol mesin adalah seluruh rangkaian kegiatan yang seharusnya dilakukan terhadap jalannya sistem permesinan atau kondisi lingkungan permesinan guna mempertahankan harga, nilai dan kondisi yang dihasilkan oleh proses dari setiap sistem atau sub-sistem permesinan sesuai dengan kondisi yang diharapkan.

Gambar 2.1 Sistem kontrol secara lengkap



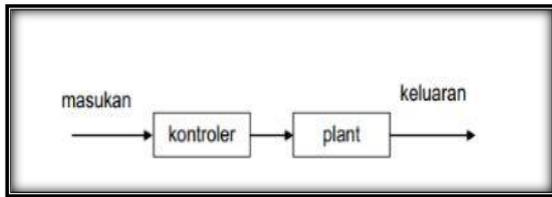
Sumber : Buku Ajar Sistem Analog, Aris Triwiyatno (2017)

Ada dua jenis sistem kontrol yaitu Sistem Kontrol Lingkaran Terbuka (*Open-Loop Control System*) dan Sistem Kontrol Lingkaran Tertutup (*Close-Loop Control System*), berikut adalah penjelasannya:

1) Sistem Kontrol Lingkaran Terbuka (*Open-Loop Control System*).

Sistem kontrol lingkaran terbuka adalah suatu sistem kontrol yang memiliki ciri khas/karakteristik dimana nilai keluaran (*output*) tidak memberi pengaruh pada aksi kontrol. Berikut adalah gambaran secara umum sistem lingkaran terbuka.

Gambar 2.2 Sistem Lingkaran Terbuka



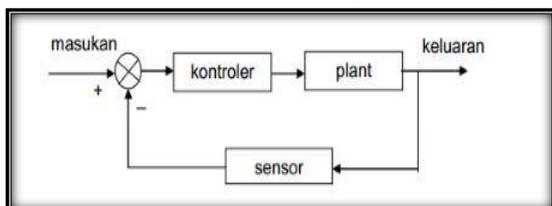
Sumber : Buku Ajar Sistem Analog, Aris Triwiyatno (2017)

Sistem ini memang tergolong lebih sederhana, murah dan mudah dalam desainnya, namun menjadi tidak stabil dan seringkali memiliki tingkatan kesalahan yang cukup besar bila diberi gangguan dari luar. (Triwiyatno, 2017).

2) Sistem Kontrol Lingkaran Tertutup (*Close-Loop Control System*).

Sistem kontrol lingkaran tertutup adalah sistem yang identik dengan sistem kontrol umpan balik (*feedback*), dimana nilai dari kelauran (*output*) akan ikut mempengaruhi aksi kontrolnya.

Gambar 2.3 Sistem Lingkaran Tertutup



Sumber : Buku Ajar Sistem Analog, Aris Triwiyatno (2017)

Dibanding sistem kontrol lingkaran terbuka, sistem kontrol lingkaran tertutup memang jauh lebih rumit, mahal dan sulit dalam desain. Namun tingkat kestabilannya yang relatif konstan dan tingkat kesalahannya yang cukup kecil apabila terdapat gangguan dari luar. (Triwiyatno, 2017).

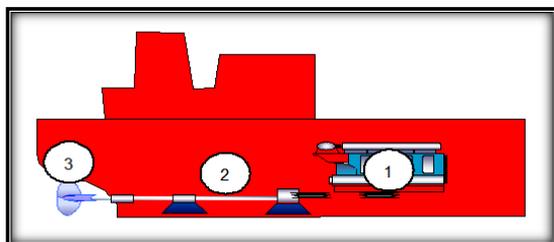
b. Teori Sistem Propulsi Kapal.

Sistem propulsi adalah sistem penggerak yang dirancang untuk mengatasi seluruh gaya hambat (*total resistance*) yang terjadi pada kapal untuk menjaga nilai kecepatan dinas sesuai yang telah direncanakan dalam pelayaran. (Kapal, n.d.).

Sistem propulsi kapal memiliki komponen utama diantaranya:

- 1) Motor Pendorong Pokok (*Main Engine*)
- 2) Sistem Transmisi
- 3) Alat Penggerak (Propulsor)

Gambar 2.4 Komponen Utama Sistem Propulsi

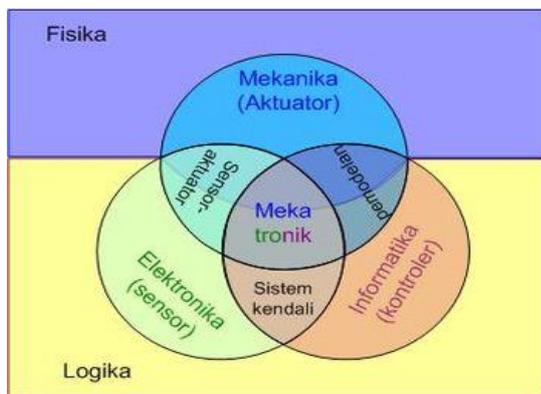


Sumber: Paket Intruksi Tahanan dan Propulsi Kapal (2020).

c. Teori Mekanika.

Mekatronika merupakan gabungan disiplin ilmu teknik mesin, teknik elektronika, teknik informatika dan teknik kendali/kontrol. Untuk menggabungkan disiplin ilmu tersebut maka mekatronika memerlukan teori kendali dan teori sistem. (Sekarrini, 2018)

Gambar 2.5 Disiplin Ilmu Penunjang



Mekatronika

Sumber: Materi Dasar Mekatronika (2018)

Sistem mekatronika dibagi dalam beberapa kelompok khusus yaitu:

- 1) Sistem Kontrol (*Signal and system*)
- 2) Konsep mekanikal (*Physical system modeling*)
- 3) Komputer dan Sistem Logika (*Computer and Logic system*)
- 4) Sensor dan Aktuator (*Sensors and Actuators*)

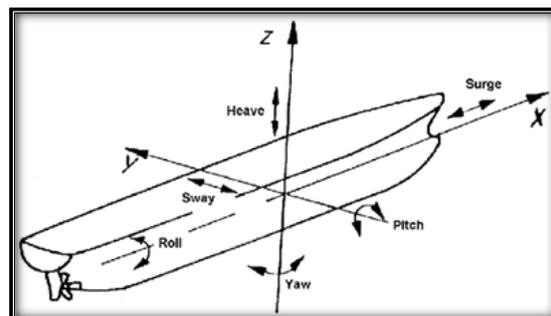
- 5) Piranti lunak dan Akuisisi data (*Software and Data acquisition*)

d. Dinamika Kapal.

Dalam beroperasi kapal berada di atas fluida cair berupa air laut dan air tawar, pada saat itulah kapal mengalami gerakan yang diakibatkan oleh kapal itu sendiri (*manouveribility*) maupun akibat faktor gangguan luar (*seakeeping*). Gerakan yang diakibatkan faktor luar diantaranya karena iklim yang tidak mendukung yang mengakibatkan munculnya gelombang besar, adanya badai yang berbahaya bagi kapal, kecepatan dan arah angin serta gangguan arus laut. (Manik et al., 2012)

Dalam pelaksanaannya ada enam macam gerakan dinamika kapal dilaut atau disebut *degree of freedom (DOF)* yaitu tiga gerakan translasi (*surgin*, *swaying* dan *heaving*) dan tiga gerakan rotasi (*rolling*, *pitching* dan *yawing*).

Gambar 2.1 Gerak Kapal (*Degree of Freedom*)



Sumber: *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, Källström

Dalam perancangan ini derajat kebebasan yang digunakan hanya *roll*, *pitch* dan *yaw*. Besaran kecepatan dan gaya/momen pada masing-masing derajat kebebasan simbol-simbol yang terangkum dalam Tabel 1

Tabel 2.1 Simbol Derajat Kebebasan (Källström, 1996)

DOF	Gerakan	Gaya dan momen	linear dan kecepatan angular	Posisi dan sudut Euler
1	Gerak pada arah-x (<i>surge</i>)	X	u	x
2	Gerak pada arah-y (<i>sway</i>)	Y	v	y
3	Gerak pada arah-z (<i>heave</i>)	Z	w	z
4	Rotasi pada sumbu-x (<i>roll</i>)	K	p	Φ
5	Rotasi pada sumbu-y (<i>pitch</i>)	M	q	θ
6	Rotasi pada sumbu-z (<i>yaw</i>)	N	r	Ψ

Sumber: Perancangan Sistem Kendali Manuver Berbasis Logika *Fuzzy* Untuk Anti Tabrakan Kapal (2016)

e. Teori Logika *Fuzzy*.

Logika *Fuzzy* adalah logika yang memiliki nilai samar atau kekaburan (f) antara benar atau salah. Teori ini dikenalkan oleh Profesor Lotfi A. Zadeh guru besar pada *University of California, Berkeley* pada tahun 1965. Pada saat itu Lotfi A. Zadeh mencetuskan sekaligus memperkenalkan cara mekanisme pengolahan atau manajemen ketidakpastian yang kemudian dikenal sebagai Logika *Fuzzy*. (Wardana, n.d.)

Logika *Fuzzy* berbeda dengan logika digital dimana logika digital menghasilkan nilai yang pasti antara 0 atau 1. Sedangkan pada Logika *Fuzzy*

memungkinkan kita untuk memiliki nilai antara 0 dan 1, misalnya 0,5; 0,75 dan 0,8. Nilai inilah yang dikenal dengan nilai kabur atau samar.

Logika *Fuzzy* banyak digunakan dalam bidang ilmu teori keputusan, teori kontrol dan beberapa bagian ilmu manajemen sains. Kelebihan dari Logika *Fuzzy* yaitu mampu dalam proses penalaran secara bahasa, sehingga dalam perancangannya tidak perlu lagi persamaan matematika.

Untuk membuat perancangan suatu sistem Logika *Fuzzy* harus dilakukan beberapa tahapan berikut:

- 1) Mendefinisikan karakteristik model secara fungsional dan operasional.
- 2) Melakukan dekomposisi variable model menjadi himpunan *Fuzzy*.
- 3) Membuat aturan *Fuzzy*. (Wardana, n.d.).

f. Toleransi Kesalahan (Fault Tolerance)

Toleransi kesalahan adalah metode dinamis yang digunakan untuk menyatukan sistem yang saling terhubung, mempertahankan keandalan, dan ketersediaan dalam sistem terdistribusi. Metode redundansi perangkat keras dan perangkat lunak adalah teknik toleransi kesalahan yang

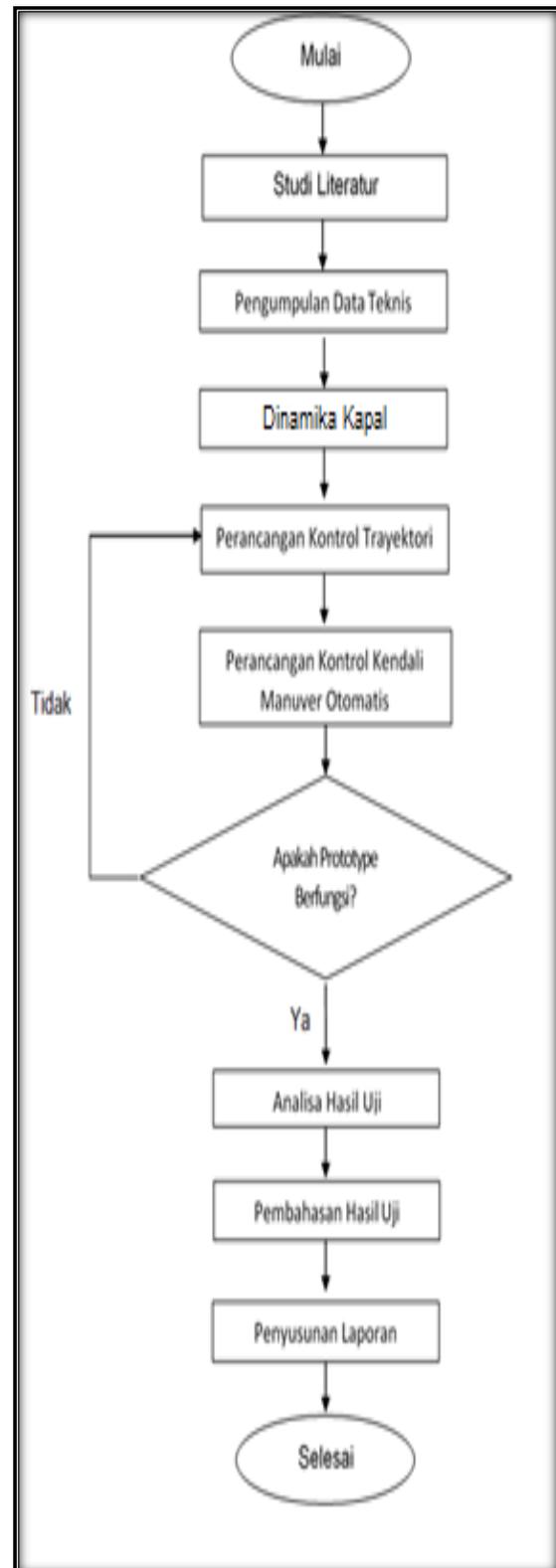
diketahui dalam sistem terdistribusi. Metode perangkat keras memastikan penambahan beberapa komponen perangkat keras seperti CPU, tautan komunikasi, memori, dan perangkat I/O sementara dalam metode toleransi kesalahan perangkat lunak, program khusus disertakan untuk menangani kesalahan. Mekanisme toleransi kesalahan yang efisien membantu dalam mendeteksi kesalahan dan jika mungkin memulihkannya.

III. METODE PERANCANGAN

3.1 Perancangan Sistem.

Dalam metodologi perancangan alat, penulis akan menjelaskan tentang sistem perancangan perangkat maupun tahapan pemrograman alat yang dibuat. Dalam memudahkan hasil dari penulisan maka akan digambarkan sebuah diagram alir proses pembuatan dan prinsip kerja rancangan penulisan seperti pada gambar 3.1 berikut ini.

Gambar 3.1 Flowchart Proses Kerja Perancangan



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

Dalam perencanaan eksperimen ini menggunakan tahapan-tahapan pengerjaan sebagai berikut :

a. Studi Literatur.

Studi literatur adalah tahap pengumpulan data dan informasi dari beberapa referensi berupa buku atau hasil penulisan dengan judul yang berkaitan dengan:

- 1) Sistem Kendali Manuver Otomatis.
- 2) Penggunaan Mikrokontroler dan GPS.
- 3) Sistem Kontrol Logika Fuzzy.

b. Pengumpulan Data Spesifikasi Kapal. Pada tahap ini akan dikumpulkan data spesifikasi kapal tipe PC-40 yang diperlukan dalam pemodelan dinamika kapal. Berikut adalah data spesifikasi kapal tipe PC- 40.

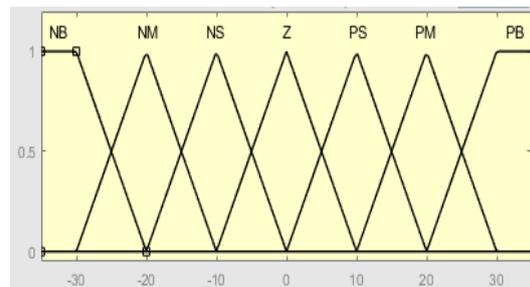
- 1) Panjang Kapal (Lbp)
: 37,43 m
- 2) Kecepatan (V)
: 20 Knot = 10,3 m/s
- 3) Lebar Kapal (B)
: 7,38 m
- 4) Koefisien Blok (Cb)
: 0,35
- 5) Center of Gravity (XG)
: 1.87 m
- 6) Rudder Area (A δ)
: 0,21 m²

7) Kedalaman (T) : 1,9 m

c. Dinamika Kapal. Dalam penelitian ini dinamika kapal dapat dibaca dengan menggunakan sensor gyro yang terpasang pada badan kapal.

d. Perancangan Kontrol Trayektori. Lintasan yang digunakan untuk jalur pelayaran kapal ditentukan oleh posisi terakhir kapal, dengan perumpamaan 5 titik koordinat jalur pelayaran kapal.

Gambar 3.2 Trayektori Pelayaran Kapal



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

1. Posisi Awal Kapal:
 $-7^{\circ}13'22.37'' S 112^{\circ}42'35.35'' E$
2. Koordinat titik 1:
 $-7^{\circ}12'22.87'' S 112^{\circ}42'35.82'' E$
3. Koordinat titik 2:
 $-7^{\circ}13'23.2'' S 112^{\circ}42'36.22'' E$
4. Koordinat titik 3:
 $-7^{\circ}13'23.63'' S 112^{\circ}42'36.65'' E$
5. Koordinat titik 4:
 $-7^{\circ}13'23.74'' S 112^{\circ}42'37.33'' E$
6. Koordinat titik 5:
 $-7^{\circ}13'24.17'' S 112^{\circ}42'37.84'' E$

e. Perancangan Kontrol Kendali Manuver Otomatis.

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan Kontrol Logika Fuzzy yang ingin digunakan untuk mengontrol kapal.

Berikut ini adalah langkah pembuatan kontrol manuver otomatis menggunakan Logika Fuzzy sesuai dengan gambar 3.3 tentang diagram blok sistem KLF :

1) Fuzzifikasi.

Input kendali kapal terdiri atas 2 variabel yaitu *error yaw* dan *yaw rate* yang tiap variabelnya menggunakan 7 fungsi keanggotaan yaitu *Negative Big (NB)*, *Negative Medium (NM)*, *Negative Small (NS)*, *Zero (Z)*, *Positif Small (PS)*, *Positif Medium (PM)*, *Positif Big (PB)*. Keluaran dari kendali kapal berupa perubahan *rudder*.

Fungsi keanggotaan dari *Error Yaw* diilustrasikan pada gambar dibawah ini :

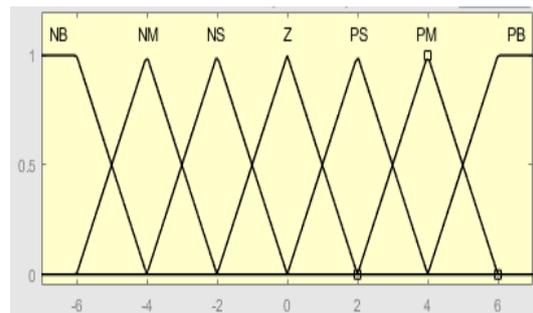
Gambar 3.3 Fungsi Keanggotaan *Error Yaw*



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

Pada gambar 3.4 menunjukkan fungsi keanggotaan yang berdasar pada nilai masukan *error yaw* dimana sumbu y sebagai nilai keanggotaan himpunan Fuzzy, sedangkan sumbu x merupakan nilai *crisp* dari *error yaw*. *Range* pada *error yaw* berada diantara -35° sampai dengan 35° . Sedangkan fungsi keanggotaan dari *Yaw Rate* akan diilustrasikan pada gambar dibawah ini :

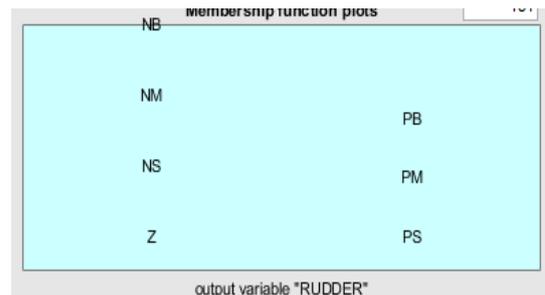
Gambar 3.4 Fungsi Keanggotaan *Yaw Rate*



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

Gambar 3.5 menunjukkan fungsi keanggotaan dari *Yaw Rate* dengan *range* mulai dari $-7^{\circ}/s$ sampai dengan $7^{\circ}/s$ yang dibagi atas 7 keanggotaan.

Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan *Rudder*



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

Untuk *output* dari sistem KLF ini berupa perubahan *rudder* yang mana dijelaskan pada gambar 3.6 yang sama dengan *Error Yaw*.

2) Rule Base.

Dalam KLF ditentukan aturan dasar (*role base*) untuk mengendalikan *rudder* yang secara rinci sebagai berikut:

Tabel 3.1 Rule Base pada KLF

<i>e</i> <i>r</i>	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB
NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
NS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
PM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
PB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z

Sumber: Dokumen Penulis (2021)

3) Defuzzifikasi. *Input*

dari proses defuzzifikasi adalah himpunan *Fuzzy* yang diperoleh dari *role base* yang telah dibuat sebelumnya.

f. Gangguan Arus Laut. Untuk gangguan arus laut disesuaikan dengan kondisi pada saat pengambilan data dengan diberikan beberapa kondisi berupa :

- 1) Tanpa gangguan.
- 2) Dengan gangguan.

g. Pengujian Alat. Pada tahap ini akan dilakukan uji coba alat, apabila sistem tidak mampu mengatasinya

maka akan dilakukan analisa pada pembuatan sistem dan jika alat simulasi sistem kendali manuver otomatis mampu mencapai tujuan yang diinginkan, maka akan dilakukan analisa dari pembahasan.

h. Analisa Hasil Uji. Dari hasil pelaksanaan pengujian alat maka akan dilakukan analisa terhadap sistem kendali manuver otomatis, apakah semua sistem sudah sesuai dengan yang diinginkan dengan melihat data hasil uji.

i. Pembahasan Hasil Uji. Pada tahap ini akan dilakukan pembahasan hasil uji sesuai dengan analisa dan data data yang didapatkan selama tahap pengujian yang kemudian akan ditentukan apakah sistem kendali manuver otomatis sudah maksimal atau perlu dilaksanakan pengoptimalan.

j. Penyusunan Laporan.

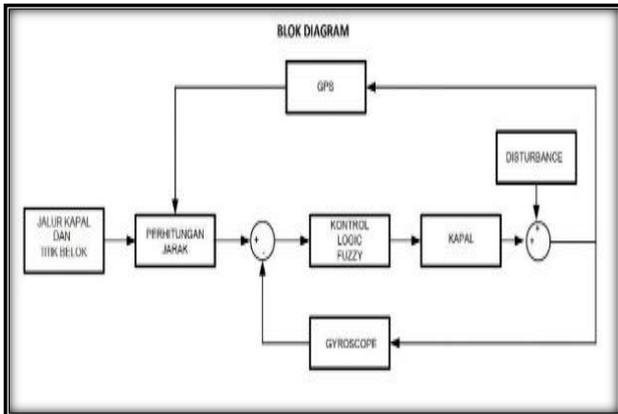
Tahap terakhir dari penulisan skripsi ini adalah penyusunan laporan, yaitu melaksanakan pembukuan terhadap seluruh data dan pengolahan data-data dari hasil uji dalam bentuk laporan.

3.2 Blok Diagram.

Dalam blok diagram ini penulis ingin menjelaskan skema sistem kerja alat yang akan digunakan sesuai dengan pemikiran perancangan awal.

Berikut ini adalah blok diagram yang akan menjelaskan alur sistem alat yang dibuat:

Gambar 3.6 Blok Diagram Alur Kerja Sistem



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

Gambar. 3.6 menjelaskan sistem manuver otomatis yang akan dibuat dimana sistem akan menerima *input* berupa jalur kapal dan target koordinat yang kemudian diperhitungkan jarak posisi kapal dengan titik belok. Kemudian sinyal digital akan diproses untuk penggunaan Logika *Fuzzy* saat manuver dan diteruskan menuju Kapal sebagai objek dengan aktuator motor dan rudder, pembelokan rudder kapal setelah mendapat sinyal digital dari *Gyroscope*. Dalam pelaksanaan sistem kendali manuver otomatis akan diberikan gangguan (*disturbance*) berupa arus laut sebagai variabel yang diuji, kunci dari sistem ini adalah KLF sebagai pengambil keputusan ketika mengalami *disturbance* yang akan

diteruskan kepada rudder untuk menentukan arah gerak kapal.

3.3 Analisa Kebutuhan Perancangan.

a. Prototipe Kapal tipe PC-40.

Dalam pelaksanaan perancangan sistem menggunakan RC Boat yang memiliki bangunan kapal mendekati PC-40 sebagai berikut:

Gambar 3.7 Prototipe Kapal PC-40



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

Berikut adalah dimensi dari RC Boat yang akan digunakan pada perancangan alat :

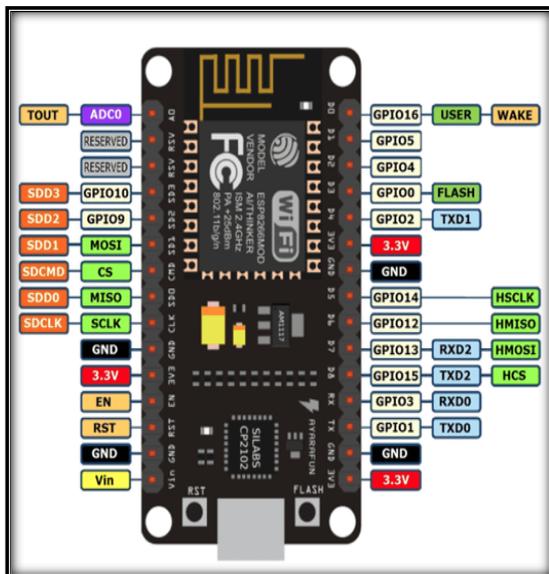
- 1) Panjang Kapal (Lbp)
: 85 cm
- 2) Kecepatan (V)
: 20 m/s
- 3) Lebar Kapal (B)
: 20,5 cm

- 4) Koefisien Blok (Cb)
: 1.06 cm
- 5) Center of Gravity (XG)
: 4.05 cm
- 6) Rudder Area (A δ)
: 14 cm²
- 7) Kedalaman (T)
: 12 cm

b. Mikrokontroler NodeMCU v3 ESP8266.

NodeMCU ESP8266 memiliki keunggulan dapat menjembatani fungsi mikrokontroler ke jaringan WiFi. (Riswandi, 2019)

Gambar 3.8 Pin Out pada modul NodeMCU



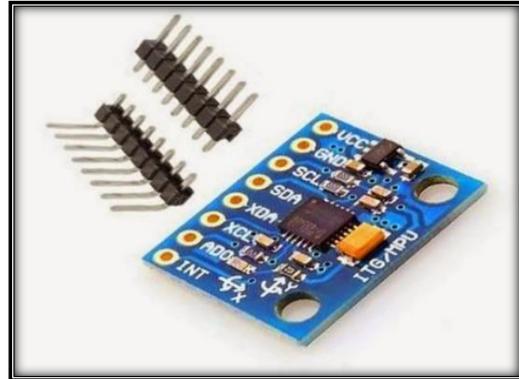
ESP8266

Sumber: <https://components101.com/>

c. Sensor Mpu 6050. Sensor MPU-6050 adalah sebuah modul berinti MPU-6050 yang merupakan 6 axis Motion Processing Unit digunakan untuk menangkap nilai dari sumbu X, Y dan Z

bersamaan dalam satu waktu. (Erman, 2019)

Gambar 3.9 Module MPU 6050



Sumber: <https://nyebarilmu.com/>

d. Ublox Neo-6m V2.

Ublox Neo 6m digunakan sebagai komponen pencari koordinat lokasi karena memiliki tingkat keakuratan yang tergolong tinggi dengan arsitektur dan daya serta memori yang optimal. (Agung dkk,2018)

Gambar 3.10 Module Ublox Neo 6m V2



Sumber: Perancangan Sistem Keamanan Berkendara Roda Dua, Hermanto.

3.4 Desain Sistem. Pada tahap ini penulis akan menjelaskan tentang desain sistem manuver otomatis yang

akan diterapkan pada kapal PC 40 M dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang diprogram menggunakan aplikasi Arduino IDE.

a. *Desain Hardware.* Untuk *Hardware* yang digunakan berupa prototipe kapal PC 40 M (*RC boat*) yang kemudian ditambahkan oleh penulis material untuk mendukung sistem berupa mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor Mpu 6050 dan Ublox Neo-6m V2.

b. *Desain Software.* Dalam pembuatan *software* menggunakan aplikasi arduino untuk pemrograman Logika *Fuzzy*, pembacaan sensor dan *user interface*.

3.5 Rencana Tahapan Pengujian.

Dalam tahapan pengujian alat sistem manuver otomatis, penulis terlebih dahulu menyiapkan peralatan yang dibutuhkan. Rencana yang dibuat sebagai berikut :

a. *Pengumpulan dan Pengujian Material.* Pada tahap ini seluruh material yang telah ditentukan baik berupa komponen maupun *software* dikumpulkan, dengan sebelumnya dilakukan pengujian terhadap material tersebut untuk memastikan material dapat berfungsi sesuai dengan apa yang diharapkan.

b. *Perancangan Software.*

Dalam perancangan *software* penulis membuat perintah agar sistem kendali manuver otomatis dapat membaca trayektori kapal berupa input koordinat titik belok dengan Logika *Fuzzy* untuk memastikan kapal dapat bermanuver sesuai trayektori dengan ada atau tidaknya gangguan (*disturbance*) dari arus laut.

Algoritma pemrograman untuk melaksanakan perintah manuver kapal otomatis adalah sebagai berikut :

- 1) Masukkan *input* trayektori kapal pada *software* yang sudah dibuat.
- 2) Sensor gyro dan GPS akan membaca titik koordinat kemudian memperhitugan jarak kapal ke titik koordinat dan dikirim ke kontrol Logika *Fuzzy*.
- 3) Logika *Fuzzy* akan memproses data yang diterima untuk menentukan besar sudut rudder dalam melaksanakan manuver saat mengalami gangguan kemudian dikirim ke aktuator (rudder).
- 4) Rudder setelah menerima data dari kontrol Logika *Fuzzy* akan diproses dalam bentuk pengurangan maupun penambahan sudut rudder.
- 5) GPS dan gyro akan membaca posisi kapal serta halu

kapal apakah sudah sesuai dengan koordinat yang ditentukan. Apabila belum sesuai maka kembali ke algoritma 2.

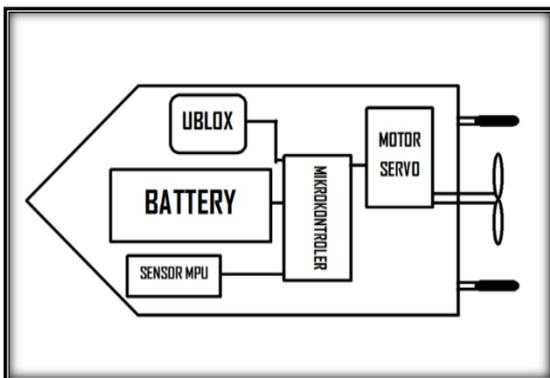
c. Perancangan Mekanik.

Perancangan mekanik yaitu penambahan material yang dibutuhkan pada prototipe kapal PC 40 M untuk menunjang sistem kendali manuver otomatis berupa Mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor Mpu 6050 dan Ublox Neo-6m V2.

d. Penyusunan Seluruh Perangkat.

Penyusunan antara *software* dan mekanik dilakukan ketika semua sudah siap dan dilaksanakan pengujian melalui test program agar tidak terjadi kesalahan.

Gambar 3.11 Desain Prototipe kapal PC 40 M



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

e. Pengujian dan Analisa prototipe otomatisasi manuver. Sistem Kendali Manuver Otomatis yang telah dirancang siap untuk diuji coba, pengujian dilaksanakan sesuai dengan prosedur

dan bertahap untuk menemukan masalah atau hasil yang tidak dapat diduga dalam pembuatan alat.

IV. PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan membahas tahapan dalam perancangan dan pengujian alat dan komponen yang akan digunakan. Pengujian dimulai dengan merancang program aplikasi dan desain mekanik sensor *gyro*, GPS, dan mikrokontroler sampai terbentuknya alat dari produk yang telah direncanakan sebelumnya. Sistem *software* dan produk akan dilakukan pengujian untuk memastikan seluruh komponen dari sistem dapat beroperasi dengan baik sesuai yang telah direncanakan. Untuk pengujian *software* penulis menggunakan program arduino.

4.1 Implementasi Sistem.

Prinsip kerja dari sistem manuver otomatis dalam perancangan ini akan mengambil data dari sensor *gyro* dan sensor GPS untuk menyatakan posisi kapan dan trayektori pelayaran kapal yang akan dilaksanakan. Data dari sensor nantinya akan diolah oleh mikrokontroler sehingga menghasilkan sinyal kontrol *input* pada mikrokontroler untuk nantinya diolah oleh Kontrol Logika *Fuzzy*. Jika sensor *gyro* dan GPS

membaca posisi kapal tidak sesuai dengan nilai set yang telah diatur pada mikrokontroler, maka sinyal *error yaw* yang terbaca oleh Kontrol Logika *Fuzzy* akan diolah menjadi sinyal pengaturan yang akan kemudian diolah oleh mikrokontroler untuk melakukan pergerakan menuju nilai set yang telah ditentukan untuk mempertahankan posisi kapal. Dalam pengolahan sinyal *error yaw* dalam Kontrol Logika *Fuzzy* akan dicocokkan dengan *yaw rate* sesuai dengan *rule base* yang telah dibuat agar menghasilkan sinyal *output* berupa fungsi pergerakan *rudder*.

Gambar 4.1 Percobaan Alat



Sumber : Dokumen Penulis (2021)

Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai suatu komponen elektronika yang berfungsi untuk mengolah data *input/output* atau sebagai komponen pengolah data dimana proses pengolahan datanya dapat kita sesuaikan dengan kebutuhan. Pada sistem manuver otomatis,

program mikrokontroler bertugas sebagai pembacaan data analog pada sensor GPS dan gyro kemudian mengubahnya menjadi data digital untuk mempermudah dalam melakukan perhitungan data sekaligus sebagai pengirim sinyal pengaturan untuk menyatakan adanya kesalahan posisi kapal.

Pada *software* dari sistem manuver otomatis menggunakan aplikasi *Arduino* sebagai aplikasi pengaturan komponen mikrokontroler NodeMCu ESP8266 untuk membuat sistem kontrol. *Software* ini diprogram untuk dapat bekerja sesuai dengan prinsip kerja sistem. Aplikasi arduino ini dipilih karena merupakan aplikasi *open source* yang memudahkan penulis untuk membuat program sesuai dengan yang dikehendaki. Dimana dalam pemrogramannya menggunakan bahasa C.

Sistem kontrol manuver otomatis ini nantinya akan diuji coba dalam 4 kondisi dimulai dari tanpa gangguan arus, gangguan arus ringan, gangguan arus sedang dan gangguan arus berat yang mana gangguan arus ini dibuat oleh penulis. Diharapkan pergerakan kapal baik ada gangguan maupun tanpa gangguan sesuai dengan trayektori yang sudah dibuat sebelumnya. Untuk data yang akan diolah dalam percobaan

ini adalah waktu tempuh dari satu titik ke titik lain dalam kondisi kapal tanpa gangguan dan juga pemecahan masalah ketika kapal diberi gangguan dengan menunjukkan data *error yaw*, *yaw rate* dan *rudder action*.

4.2 Pengujian Alat/Sistem.

a. Pengujian *Hardware*.

Pengujian *hardware* bertujuan untuk mengetahui apakah komponen-komponen yang digunakan dapat berjalan sesuai dengan fungsinya untuk menunjang proses pada sistem manuver otomatis sehingga kesalahan dan *error* dapat diatasi sebelum pada pelaksanaan uji coba alat nantinya. Adapun komponen-komponen yang akan diuji meliputi sensor-sensor yang berperan penting dalam pelaksanaan manuver otomatis.

1) Pengujian sensor gyro.

Pengujian sensor *gyro* dilaksanakan untuk mengetahui kemampuan modul *Micro Processing Unit* (MPU) yang digunakan dalam melakukan pembacaan pergerakan badan kapal terutama dalam kondisi *yawing*. Pengujian dilakukan dengan *testing* pembacaan data dengan *running* menggunakan *software* Arduiono IDE dengan komponen NodeMCU ESP8266

dan menghasilkan data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Tes Sensor gyro dalam 50 Iterasi

ITERASI	ROLL (X)	PITCH (Y)	YAW (Z)
1	2	3	4
Iterasi 1	19.37	13.22	56.25
Iterasi 2	19.43	12.35	58.18
Iterasi 3	19.39	12.76	57.25
Iterasi 4	19.59	12.57	57.79
Iterasi 5	19.46	12.29	58.34
Iterasi 6	19.49	12.15	58.70
Iterasi 7	19.37	12.71	57.32
Iterasi 8	19.29	12.75	57.12
Iterasi 9	19.28	12.52	57.59
Iterasi 10	19.38	12.88	56.97
Iterasi 11	19.31	12.69	57.28
Iterasi 12	19.33	12.20	58.36
Iterasi 13	19.56	12.52	57.99
Iterasi 14	19.33	12.29	58.14
Iterasi 15	19.27	12.68	57.24
Iterasi 16	19.25	12.88	56.79
Iterasi 17	19.38	13.14	56.43
Iterasi 18	19.30	12.92	56.79
Iterasi 19	19.59	12.30	58.51
Iterasi 20	19.41	12.19	58.50
Iterasi 21	19.46	12.71	57.44
Iterasi 22	19.23	27.67	33.62
Iterasi 23	19.34	26.78	34.81

Iterasi 24	19.29	26.31	35.29
Iterasi 25	19.33	26.44	35.20
Iterasi 26	19.38	26.52	35.18
Iterasi 27	19.20	25.79	35.77
Iterasi 28	19.21	26.16	35.35
Iterasi 29	19.48	25.85	36.12
Iterasi 30	19.35	26.16	35.56
Iterasi 31	19.43	25.76	36.17
Iterasi 32	19.16	26.03	35.43
Iterasi 33	19.37	25.62	36.24
Iterasi 34	19.32	25.73	36.03
Iterasi 35	19.39	25.78	36.09
Iterasi 36	19.28	25.61	36.12
Iterasi 37	19.31	26.15	35.50
Iterasi 38	19.23	25.84	35.76
Iterasi 39	19.40	25.68	36.22
Iterasi 40	19.23	26.13	35.42
Iterasi 41	21.14	7.0	72.33
Iterasi 42	19.35	0.81	87.70
Iterasi 43	20.10	357.02	98.08
Iterasi 44	20.23	357.15	97.68
Iterasi 45	20.17	357.21	97.55
Iterasi 46	20.30	357.89	95.68
Iterasi 47	20.21	357.21	97.55
Iterasi 48	20.32	357.81	95.90
Iterasi 49	20.09	357.71	96.23
Iterasi 50	20.05	358.02	95.40

Sumber: Dokumen Penulis (2021)

2) Pengujian GPS.

Pengujian sensor *GPS* dilaksanakan untuk mengetahui apakah modul ini dapat membaca

posisi secara detail dan sesuai dengan koordinat dan memastikan tidak terjadi *error* pada modul pada *GPS* yang digunakan dengan bantuan mikrokontroler dan *gadget* (*handphone* atau laptop) sebagai display hasil pembacaan.

Dalam pelaksanaan pengujian sensor *GPS* tidak dapat dilakukan didalam ruangan karena sistem kesulitan dalam menampilkan koordinat lintang maupun bujur. Sehingga pengujian hanya dapat dilakukan diruangan terbuka agar dapat menampilkan koordinat lintang dan bujurnya.

Pengujian ini dikatakan berhasil apabila pada display sistem memunculkan titik koordinat lintang maupun bujur sesuai dengan posisi yang nyata di lapangan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* Arduino IDE dengan komponen NodeMCU ESP8266 dengan data sebagai berikut :

Gambar 4.2 *Display* koordinat GPS

The image shows a software interface for a ship navigation simulator. At the top, it reads 'AKADEMI ANGGKATAN LAUT DEPARTEMEN TEKNIK'. Below that, the title is 'SIMULATOR NAVIGASI KAPAL'. The interface is divided into several sections:

- DATA GPS:** Fields for Latitude (7.222899) and Longitude (112.713348) with a 'SUBMIT' button.
- ENTRY DATA GPS:** Similar fields for Latitude (7.222896) and Longitude (112.713341) with 'SUBMIT' buttons.
- ENTRY DATA SPEED DAN KEMUDI:** A 'SPEED' section with 'STOP' and 'START' buttons, and a 'KEMUDI' section with 'KIRI', 'LURUS', and 'KANAN' buttons.
- GYRO ACCELERATOR SENSOR:** Fields for 'Aci X' (22.80), 'Aci Y' (15.60), and 'Aci Z' (58.40).

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

3) Pengujian Motor Pendorong

Pengujian ini dilakukan untuk mengkonfigurasi kecepatan kapal yang disesuaikan dengan komponen *Engine Speed Control (ESC)* agar didapatkan angka yang sesuai untuk dijadikan acuan mengatur kecepatan kapal.

Dikarenakan dalam program ini menggunakan komponen servo driver PCA9685 dimana rentang frekuensi komponen ini dari 0 sampai dengan 450, maka harus dikalibrasikan agar mendapatkan kecepatan yang diinginkan.

Gambar 4.3 Pengujian Motor Pendorong



Sumber : Dokumen Penulis (2021)

4) Pengujian Servo Kemudi

Pengujian ini ditujukan untuk mengkalibrasi sudut servo dengan derajat *rudder* agar didapatkan rentang kemudi antara -35° sampai dengan 35° dimana

dalam angka pemrograman didapatkan rentang antara 320 sampai dengan 80.

Gambar 4.4 Pengujian Servo Kemudi



Sumber : Dokumen Penulis (2021)

5) Pengujian Keseluruhan Sistem.

Pengujian ini dilakukan dengan bertahap dan berhubungan satu sama lain. Apabila tahap pertama belum berhasil maka pengujian berikutnya akan tertunda sampai pengujian tahap pertama selesai dilakukan. Maka baik dari *hardware* maupun *software* harus siap dan dilakukan bertahap sehingga semua berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan serta dapat dianalisa kekurangan yang ada. Pengujian keseluruhan disini merupakan pengujian yang dilakukan dengan menggabungkan seluruh sistem *hardware*, mekanik dan *software*. Sistem yang dibuat secara keseluruhan dijelaskan dalam

Gambar 4.5 Keseluruhan Sistem pada Kapal



Sumber : Dokumen Penulis (2021)

Pada saat pengujian sistem secara keseluruhan belum mampu mendapatkan data koordinat yang akurat dikarenakan sensor GPS sendiri memiliki toleransi *error* sejauh ± 1.2 meter. Adapun pengujian yang dilakukan dengan memanuver kapal secara otomatis yang dimana berangkat dari satu titik koordinat menuju ke satu titik koordinat lainnya dengan cara otomatis berdasarkan koordinat bujur timur (E) dan nilai lintang selatan (S) dari GPS. Untuk pengujian keseluruhan sistem dimulai dengan memasukkan *input* data GPS titik yang dituju dari kapal dengan cara memasukkan data koordinat posisi awal dan koordinat setiap titik belok/titik sasaran sesuai dengan

perancangan trayektori yang sudah dibuat. Input data titik GPS kapal akan dimunculkan dalam gadget yang sudah tersambung dengan sistem dengan menggunakan modul WiFi.

b. Pengujian *Software*.

Tujuan pengujian *software* agar dapat mengetahui apakah sistem yang dibuat sudah berjalan dengan baik dan terintegrasi mulai dari sensor, prosesor maupun motor sehingga dapat membaca dan memproses *input* yang ada dan menghasilkan *output* yang diharapkan.

Gambar 4.6 Aplikasi Arduino UNO



Sumber: Dokumen Penulis (2021)

1) Pemrograman Arduino

Dalam membuat program pada Arduino menggunakan bahasa C. Meskipun

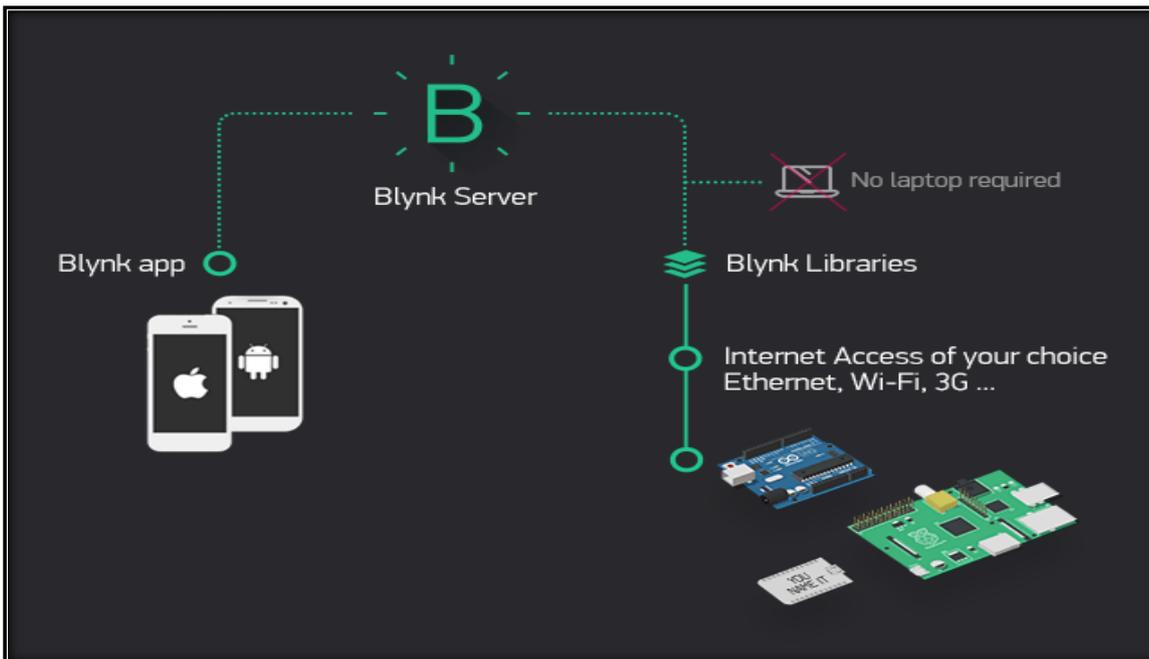
```

boat_060621_man_auto | Arduino 1.8.12
File Edit Sketch Tools Help
boat_060621_man_auto
24 static const int    RXPin=  D6,   TXPin=  D7;
25 static const uint32_t GPSBaud=  9600;
26 TinyGPSPlus gps;
27 SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);
28
29 //-----WIFI-----
30 //char ssid[] = "TPLINK 9964"; // Nama Hotspot/WiFi
31 //char pass[] = "beefnachoszzz"; // Password
32 char ssid[] = "TPLINK 9964"; // Nama Hotspot/WiFi
33 char pass[] = "beefnachoszzz"; // Password
34 //---GANTI SESUAI DENGAN TOKEN BLYNK ANDA
35 char auth[] = "USMDeaRadNr7_maVMYaSHXljb4sKxxxxt";
36 unsigned int move_index = 1;
37
38 //-----
39
40 int pinValue =0;
41 int pinValue1 = 0;
42 int tombol;
43 int jarak1;
44 const int MPU_addr= 0x68;
45 float lat2, long2;
46 String posisi;
47 unsigned long jarak;

```

Gambar 4.7 Pemrograman Arduino Bahasa C

Sumber: Dokumen Penulis (2021)



Gambar 4.8 Penggunaan Aplikasi Blynk

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

banyak bahasa pemrograman seperti contohnya pascal, basic dan lainnya namun dalam hal ini penulis menggunakan bahasa pemrograman C.

Untuk mempermudah jaringan komunikasi pada sistem maka penulis menggunakan aplikasi Blynk sebagai media untuk membuat *display* dari pengontrolan sistem ini. Alasan pemilihan aplikasi ini karena data yang di input dalam mikrokontroler akan tersimpan di dalam aplikasi blynk pada servernya sehingga mengurangi penggunaan memori pada mikrokontroler.

Selain menggunakan aplikasi Blynk sistem ini juga bisa dibuat pada Google Firebase atau jika tidak ada koneksi internet dapat membuat *local hosting*.

```
#include <TinyGPS++.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Arduino.h>
#include <Hash.h>
static const int  RXPin=  D6, TXPin=
D7;
static const uint32_t GPSBaud= 9600;
TinyGPSPlus gps;
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);
```

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

Program diatas adalah program untuk modul GPS dimana program ini akan menerima data sinyal GPS dari satelit kemudian masuk kedalam mikrokontroler yang nantinya akan dimunculkan dalam *display software* yang sudah dibuat sebagai kontroler.

```
void gps1(){
  while(ss.available()>0)
    if(gps.encode(ss.read())){
      if(gps.location.isValid()){
        double latitude=(gps.location.lat());
        double longitude=(gps.location.lng());
        Serial.println(latitude, 6);
        Serial.println(longitude, 6);
        jarak =
        (unsigned
long)TinyGPSPlus::distanceBetween(
gps.location.lat(),
gps.location.lng(),
lat2,
long2);
        Serial.println(jarak);
        Blynk.virtualWrite(V1, latitude);
        Blynk.virtualWrite(V2, longitude);
        Blynk.virtualWrite(V3, jarak);
        delay(500);
      }else{
        Serial.println(F("Data error!!!"));
      }
    }
}
```

Potongan program diatas adalah program yang dibuat untuk menampilkan data jarak dari titik koordinat yang dituju dengan koordinat kapal sebenarnya. Data jarak ini dimunculkan dengan rumus yang sudah ada dalam sistem, dimana hasil *output* berupa jarak ini digunakan untuk memonitor dan memprogram *stop* mesin secara otomatis ketika mencapai tujuan.

```
void motor(){
  if(jarak<=5){
    HCPCA9685.Servo(4,200);
  }else{
    HCPCA9685.Servo(4, 220);
  }
}
```

Dari potongan program di atas akan kita ketahui ketika jarak kapal dengan titik koordinat tujuan sudah mencapai kurang dari 5 meter maka motor akan secara otomatis akan mati, dan sebaliknya ketika lebih dari 5 meter motor akan tetap berjalan hingga mencapai jarak kurang dari 5 meter.

```

if(AcX>=6500){
  HPCA9685.Servo(3, 140);
  posisi="kiri";
}else if(AcX<=3000){
  HPCA9685.Servo(3, 260);
  posisi="kanan";
}else{
  HPCA9685.Servo(3, 200);
  posisi="lurus";
}
  Blynk.virtualWrite(V9, posisi);

```

Dari potongan program di atas akan kita ketahui ketika posisi kapal berdasarkan sensor *gyro* mengalami

pergeseran ke arah kiri maka secara otomatis kemudi akan membalas ke kanan. Begitupun sebaliknya, ketika *gyro* membaca posisi kapal mengalami pergeseran ke arah kanan maka kemudi akan membalas ke kiri.

4.3 Analisa Sistem dan Pembahasan.

a. Analisa Percobaan Autopilot pada Kapal

1) Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis Tanpa Gangguan.

a) Titik Koordinat I

Koordinat Tujuan :

Bujur Timur : 112.70995

Lintang Selatan : -7.22302

Tabel 4.2 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis Tanpa Gangguan I

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.709931	-7.223008	0.000019	0.000012	2.109	1.332	2.5
2	112.70993	-7.223031	0.00002	0.000011	2.22	1.221	2.5
3	112.709973	-7.223041	0.000023	0.000021	2.553	2.331	3.5
4	112.709963	-7.223003	0.000013	0.000017	1.443	1.887	2.4
5	112.709935	-7.223007	0.000015	0.000013	1.665	1.443	2.2
6	112.709969	-7.223035	0.000019	0.000015	2.109	1.665	2.7
7	112.709972	-7.223011	0.000022	0.000009	2.442	0.999	2.6
8	112.709931	-7.223034	0.000019	0.000014	2.109	1.554	2.6
9	112.7099482	-7.223041	0.0000018	0.000021	0.1998	2.331	2.3
10	112.709962	-7.222999	0.000012	0.000021	1.332	2.331	2.7
Nilai rata-rata Error							2.6

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

b) Titik Koordinat II

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71006

Lintang Selatan : -7.22311

Tabel 4.3 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis Tanpa Gangguan II

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710044	-7.223092	0.000016	0.000018	1.776	1.998	2.7
2	112.710039	-7.223126	0.000021	0.000016	2.331	1.776	2.9
3	112.710082	-7.223129	0.000022	0.000019	2.442	2.109	3.2
4	112.710074	-7.223095	0.000014	0.000015	1.554	1.665	2.3
5	112.710042	-7.223094	0.000018	0.000016	1.998	1.776	2.7
6	112.710084	-7.223127	0.000024	0.000017	2.664	1.887	3.3
7	112.710081	-7.223097	0.000021	0.000013	2.331	1.443	2.7
8	112.710036	-7.223123	0.000024	0.000013	2.664	1.443	3.0
9	112.7100585	-7.22313	0.000015	0.00002	0.1665	2.22	2.2
10	112.710074	-7.223095	0.000014	0.000015	1.554	1.665	2.3
Nilai rata-rata Error							2.7

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

c) Titik Koordinat III

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71018

Lintang Selatan : -7.22323

Tabel 4.4 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis Tanpa Gangguan III

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710169	-7.223217	0.000011	0.000013	1.221	1.443	1.9
2	112.710154	-7.223248	0.000026	0.000018	2.886	1.998	3.5
3	112.710201	-7.22324	0.000021	0.00001	2.331	1.11	2.6
4	112.710196	-7.223218	0.000016	0.000012	1.776	1.332	2.2
5	112.710167	-7.223218	0.000013	0.000012	1.443	1.332	2.0
6	112.710194	-7.223247	0.000014	0.000017	1.554	1.887	2.4
7	112.710203	-7.223218	0.000023	0.000012	2.553	1.332	2.9
8	112.710158	-7.223244	0.000022	0.000014	2.442	1.554	2.9
9	112.710179	-7.223251	0.000001	0.000021	0.111	2.331	2.3
10	112.710197	-7.223215	0.000017	0.000015	1.887	1.665	2.5
Nilai rata-rata Error							2.5

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

d) Titik Koordinat IV

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71037

Lintang Selatan : -7.22326

Tabel 4.5 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis Tanpa Gangguan IV

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710353	-7.223249	0.000017	0.000011	1.887	1.221	2.2
2	112.710354	-7.223272	0.000016	0.000012	1.776	1.332	2.2
3	112.710381	-7.22327	0.000011	0.00001	1.221	1.11	1.7
4	112.710386	-7.223246	0.000016	0.000014	1.776	1.554	2.4
5	112.710357	-7.223248	0.000013	0.000012	1.443	1.332	2.0
6	112.710384	-7.223273	0.000014	0.000013	1.554	1.443	2.1
7	112.710383	-7.223248	0.000013	0.000012	1.443	1.332	2.0
8	112.710349	-7.223274	0.000021	0.000014	2.331	1.554	2.8
9	112.710356	-7.223281	0.000014	0.000021	1.554	2.331	2.8
10	112.710383	-7.223246	0.000013	0.000014	1.443	1.554	2.1
Nilai rata-rata Error							2.2

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

e) Titik Koordinat V

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71051

Lintang Selatan : -7.22340

Tabel 4.6 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis Tanpa Gangguan V

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710496	-7.223382	0.000014	0.000018	1.554	1.998	2.5
2	112.710493	-7.223413	0.000017	0.000013	1.887	1.443	2.4
3	112.710526	-7.223414	0.000016	0.000014	1.776	1.554	2.4
4	112.710531	-7.223388	0.000021	0.000012	2.331	1.332	2.7
5	112.710498	-7.223386	0.000012	0.000014	1.332	1.554	2.0
6	112.710526	-7.223412	0.000016	0.000012	1.776	1.332	2.2
7	112.710524	-7.223379	0.000014	0.000021	1.554	2.331	2.8
8	112.710498	-7.223411	0.000012	0.000011	1.332	1.221	1.8
9	112.710497	-7.223419	0.000013	0.000019	1.443	2.109	2.6
10	112.710524	-7.223383	0.000014	0.000017	1.554	1.887	2.4
Nilai rata-rata Error							2.4

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

f) Analisa Keseluruhan Tanpa Gangguan

Tabel 4.7 Percobaan Keseluruhan Tanpa Gangguan

	Titik Koordinat I	Titik Koordinat II	Titik Koordinat III	Titik Koordinat IV	Titik Koordinat V	Rata-rata
Nilai Dalam Error	2.6	2.7	2.5	2.2	2.4	2.48

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

Dalam pelaksanaan pengujian

tanpa gangguan kapal

dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan yang dituju dan mengalami *error* sebesar 2.48 meter.

2) Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis dengan Gangguan.

a) Titik Koordinat I

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71051

Lintang Selatan : -7.22340

Tabel 4.8 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis dengan Gangguan I

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.709926	-7.222993	0.000024	0.000027	2.664	2.997	4.0
2	112.709922	-7.223043	0.000028	0.000023	3.108	2.553	4.0
3	112.709976	-7.223043	0.000026	0.000023	2.886	2.553	3.9
4	112.709977	-7.222996	0.000027	0.000024	2.997	2.664	4.0
5	112.709921	-7.222994	0.000029	0.000026	3.219	2.886	4.3
6	112.709977	-7.223045	0.000027	0.000025	2.997	2.775	4.1
7	112.709974	-7.222994	0.000024	0.000026	2.664	2.886	3.9
8	112.709925	-7.223049	0.000025	0.000029	2.775	3.219	4.3
9	112.709929	-7.223044	0.000021	0.000024	2.331	2.664	3.5
10	112.709976	-7.222995	0.000026	0.000025	2.886	2.775	4.0
Nilai rata-rata Error							4.0

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

b) Titik Koordinat II

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71006

Lintang Selatan : -7.22311

Tabel 4.9 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis dengan Gangguan II

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710036	-7.223083	0.000024	0.000027	2.664	2.997	4.0
2	112.710035	-7.223133	0.000025	0.000023	2.775	2.553	3.8
3	112.710089	-7.223135	0.000029	0.000025	3.219	2.775	4.3
4	112.710081	-7.223083	0.000021	0.000027	2.331	2.997	3.8
5	112.710038	-7.223084	0.000022	0.000026	2.442	2.886	3.8
6	112.710087	-7.223134	0.000027	0.000024	2.997	2.664	4.0
7	112.710084	-7.223089	0.000024	0.000021	2.664	2.331	3.5
8	112.710033	-7.223139	0.000027	0.000029	2.997	3.219	4.4
9	112.710039	-7.223127	0.000021	0.000017	2.331	1.887	3.0
10	112.710084	-7.223082	0.000024	0.000028	2.664	3.108	4.1
Nilai rata-rata Error							3.9

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

c) Titik Koordinat III

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71018

Lintang Selatan : -7.22323

Tabel 4.10 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis dengan Gangguan III

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710486	-7.223204	0.000024	0.000026	2.664	2.886	3.9
2	112.710487	-7.223257	0.000023	0.000027	2.553	2.997	3.9
3	112.710536	-7.223255	0.000026	0.000025	2.886	2.775	4.0
4	112.710532	-7.223206	0.000022	0.000024	2.442	2.664	3.6
5	112.710488	-7.223204	0.000022	0.000026	2.442	2.886	3.8
6	112.710533	-7.223256	0.000023	0.000026	2.553	2.886	3.9
7	112.710534	-7.223209	0.000024	0.000021	2.664	2.331	3.5
8	112.710488	-7.223255	0.000022	0.000025	2.442	2.775	3.7
9	112.710487	-7.223249	0.000023	0.000019	2.553	2.109	3.3
10	112.710531	-7.223213	0.000021	0.000017	2.331	1.887	3.0
Nilai rata-rata Error							3.7

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

d) Titik Koordinat IV

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71037

Lintang Selatan : -7.22326

Tabel 4.11 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis dengan Gangguan IV

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710346	-7.223234	0.000024	0.000026	2.664	2.886	3.9
2	112.710345	-7.223281	0.000025	0.000021	2.775	2.331	3.6
3	112.710397	-7.223281	0.000027	0.000021	2.997	2.331	3.8
4	112.710392	-7.223237	0.000022	0.000023	2.442	2.553	3.5
5	112.710348	-7.223234	0.000022	0.000026	2.442	2.886	3.8
6	112.710396	-7.223282	0.000026	0.000022	2.886	2.442	3.8
7	112.710394	-7.223239	0.000024	0.000021	2.664	2.331	3.5
8	112.710348	-7.223279	0.000022	0.000019	2.442	2.109	3.2
9	112.710347	-7.223279	0.000023	0.000019	2.553	2.109	3.3
10	112.710394	-7.223234	0.000024	0.000026	2.664	2.886	3.9
Nilai rata-rata Error							3.6

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

e) Titik Koordinat V

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.71051

Lintang Selatan : -7.22340

Tabel 4.12 Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis dengan Gangguan V

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.710486	-7.223378	0.000024	0.000022	2.664	2.442	3.6
2	112.710485	-7.223423	0.000025	0.000023	2.775	2.553	3.8
3	112.710536	-7.223415	0.000026	0.000015	2.886	1.665	3.3
4	112.710531	-7.223376	0.000021	0.000024	2.331	2.664	3.5
5	112.710498	-7.223374	0.000012	0.000026	1.332	2.886	3.2
6	112.710536	-7.223422	0.000026	0.000022	2.886	2.442	3.8
7	112.710534	-7.223379	0.000024	0.000021	2.664	2.331	3.5
8	112.710488	-7.223419	0.000022	0.000019	2.442	2.109	3.2
9	112.710487	-7.223419	0.000023	0.000019	2.553	2.109	3.3
10	112.710534	-7.223384	0.000024	0.000016	2.664	1.776	3.2
Nilai rata-rata Error							3.4

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

f) Analisa Keseluruhan Dengan Gangguan

Tabel 4.13 Analisa Keseluruhan Dengan Gangguan

	Titik Koordinat I	Titik Koordinat II	Titik Koordinat III	Titik Koordinat IV	Titik Koordinat V	Rata-rata
Nilai Dalam Error	4	3.9	3.7	3.6	3.4	3.72

Sumber : Dokumen Penulis (2021)

Dalam pelaksanaan pengujian alat dengan gangguan arus dapat diatasi dengan rumusan sistem yang sudah dimasukan ke dalam mikorkontroler dan mengalami *error* sebesar 3.72 meter.

b. Analisa *Error* Koordinat pada *GPS*.

Untuk mengetahui tingkat akurasi dari modul *GPS* maka diperlukan analisa data *error* pada modul *GPS* sehingga nantinya tingkat toleransi dalam sistem dapat

ditentukan untuk mengolah data sistem manuver otomatis.

Berikut adalah langkah dalam menganalisa tingkat akurasi pada modul *GPS* :

Diketahui : Koordinat Tujuan

Koordinat Posisi *error*

$1^\circ = 111 \text{ km}$

Rumus :

Selisih koordinat = Koordinat Tujuan – Koordinat Posisi Error

Konversi Derajat posisi kejarak = Selisih koordinat X 111 Km

Nilai Error =

$$\sqrt{\text{Bujur Timur}^2 + \text{Lintang Selatan}^2}$$

Percobaan *Error* *GPS*

Koordinat Tujuan : Bujur Timur : 112.713539

Lintang Selatan : -7.222877

Tabel 4.14 Analisa *Error* Koordinat pada *GPS*

Iterai	Nilai Posisi Koordinat Error		Nilai Selisih Koordinat dalam derajat posisi Bujur		Nilai Jarak dalam Meter		Nilai Error dalam Meter
	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	Bujur Timur	Lintang Selatan	
1	112.713539	-7.222877	0.000008	0.000009	0.888	0.999	1.3
2	112.713539	-7.222877	0.000008	0.000005	0.888	0.555	1.05
3	112.713539	-7.222877	0.000009	0.000004	0.999	0.444	1.09
4	112.713539	-7.222877	0.000005	0.000008	0.555	0.888	1.05
5	112.713539	-7.222877	0.000002	0.00001	0.222	1.11	1.13

6	112.713539	-7.222877	0.000006	0.000008	0.666	0.888	1.11
7	112.713539	-7.222877	0.000008	0.000007	0.888	0.777	1.18
8	112.713539	-7.222877	0.000008	0.000001	0.888	0.999	1.3
9	112.713539	-7.222877	0.000008	0.000004	0.888	0.555	1.05
10	112.713539	-7.222877	0.000001	0.000009	0.111	0.999	1
Nilai rata-rata Error							1.126

Sumber: Dokumen Penulis (2021)

c. Analisa Keseluruhan *Error*.

Pada sub bab ini dilakukan analisa nilai keseluruhan *error* ini bertujuan untuk mengetahui total

keseluruhan *error* yang terjadi baik pada saat pengujian modul maupun percobaan sistem *autopilot* dalam keadaan tanpa gangguan maupun dengan gangguan.

Tabel 4.15 Analisa Nilai Keseluruhan Sistem *Error*

NO	Nilai <i>Error</i> koordinat GPS (Meter)	Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis Tanpa Gangguan (Meter)	Percobaan Sistem Kendali Manuver Otomatis dengan Gangguan (Meter)	Nilai rata-rata total keseluruhan sistem (Meter)
1	1.2	2.48	3.72	2.46

Sumber: Dokumen Penulis (2021)

Maka berdasarkan nilai rata – rata keseluruhan *error* akibat pengaruh *Error Koordinat* dan Pengaruh *error kondisi alam* adalah 2.46 meter.

Setelah mendapatkan rata – rata nilai *error posisi* yang didapat pada keseluruhan sistem seperti pada Tabel 4.15, maka nilai tersebut nantinya akan digunakan dimasukkan ke kontrol program pergerakan kapal sebagai referensi nilai radius untuk toleransi *error posisi* sistem pergerakan kapal pada proyek akhir ini.

Kemudian setelah dilakukan analisa dilanjutkan dengan pembahasan diantaranya :

a. Dalam pembuatan sistem kendali manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* ini masih memiliki nilai *error* yang diakibatkan oleh:

- 1) Faktor Internal
 - a) Kemampuan penyimpanan memori dari mikrokontroler yang terbatas dengan maksimal 16Mb,
 - b) Penggunaan jaringan internet harus dengan kecepatan yang

memadai agar dalam memberikan perintah dan mengolah data mikrokontroler tidak mengalami gangguan.

2) Faktor Eksternal

a) Pengaruh angin saat melakukan pengujian sehingga stabilitas kapal terganggu,

b) Berat kapal masih kurang sehingga mengakibatkan kapal mudah terbawa angin.

b. Dalam sistem ini penentuan posisi kapal saat melakukan manuver dapat berjalan secara otomatis dengan menggunakan sensor *gyro* yang mana akan memunculkan data dalam display kontrol, sehingga sistem dapat mengunci halu kapal apabila mengalami gangguan dan berdasarkan rumusan sistem yang ada maka akan direspon oleh kemudi untuk mengembalikan ke arah yang seharusnya.

c. Berdasarkan percobaan menggunakan prototipe PC-40 M maka sistem kendali manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* ini

dapat diterapkan, selain itu juga bisa digunakan untuk tipe lainnya.

d. Sistem manuver otomatis ini dapat berjalan dengan baik sesuai dengan yang diharapkan dimana kapal dapat mengikuti trayektori pelayaran yang ditentukan namun masih ada toleransi akibat faktor lain yang dialami.

e. Dikarenakan kapal tidak dapat mengerem secara mendadak atau membutuhkan waktu dalam mengurangi kecepatan, maka penulis telah memprogram ketika kapal akan mencapai titik tujuan dilakukan pengurangan balingan secara bertahap agar kapal dapat berhenti sesuai dengan titik tujuan.

f. Penggunaan sistem manuver otomatis ini dapat mengurangi *human error* saat melaksanakan pelayaran dan berdampak pada terminimalisirnya kecelakaan kapal yang mengakibatkan kerugian personil maupun material.

g. Dalam penggunaan sistem ini tidak hanya bisa dilakukan dengan Wifi saja, namun ketika pengawak berada dalam kapal maka dapat dibuatkan *local hosting* dengan menggunakan koneksi kabel LAN.

4.4 Implikasi

Penggunaan sistem kendali manuver otomatis pada PC-40 meter ditujukan untuk mengurangi terjadinya kecelakaan yang mengakibatkan kerugian personil maupun material. Salah satu penyebab hal tersebut adalah faktor *human error*, sehingga diharapkan sistem otomatisasi ini dapat mengurangi faktor-faktor penyebab hal tersebut diatas.

Selain itu penggunaan dan penerapan sistem otomatisasi ini juga dapat dimanfaatkan untuk memudahkan, mempercepat pekerjaan dan meningkatkan mobilitas KRI sehingga tujuan pelayaran dapat tercapai dengan maksimal dan optimal.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.

Sistem kendali manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* dapat diterapkan dan efektif pada Kapal Angkat Laut dengan jenis PC-40 ballast otomatis untuk menghindari *human error* pada saat melaksanakan pelayaran untuk menghindari kapal keluar trayektori pelayaran bahkan sampai hal yang terburuk yaitu kapal mengalami karam. Untuk mewujudkan

sistem kendali manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* yang belum ada pada Kapal Angkat Laut jenis PC-40 maka dilaksanakan perancangan sistem dengan melalui beberapa tahapan yang dimulai dengan tahap proses pembuatan konsep, tahap merumuskan masalah, tahap perancangan dan tahap proses pembuatan program sekaligus peralatan mekanik serta melalui tahap pengujian yang disertai analisa. Maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

a. Sistem kendali manuver otomatis yang dibuat dan diterapkan dalam kapal jenis PC-40 yang direpresentasikan menggunakan RC *boat* oleh perancang sudah dapat berjalan dengan baik dan bisa mengikuti trayektori pelayaran yang sudah ditentukan sebelumnya dengan toleransi *error* secara keseluruhan yaitu sebesar ± 2.46 meter dan masih dalam batas wajar. Dimana dalam menentukan posisi kapal saat melakukan manuver otomatis alat peraga dapat membaca secara otomatis menggunakan modul *GPS* yang sudah dipasang dalam sistem sedangkan untuk olah gerak kapal ketika mengalami gangguan dapat direspon dengan perubahan sudut *rudder*.

b. Sistem kendali manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* ini dibuat dengan menentukan *error yaw* yang kemungkinan dialami kapal kemudian membuat *yaw rate* sebagai respon perubahan *rudder* per detik sehingga sistem mampu mengembalikan posisi kapal apabila mengalami gangguan.

c. Perancangan sistem kendali manuver otomatis ini dapat mengurangi faktor *human error* yang terjadi ketika melakukan pelayaran. Dengan dirancangnya sistem kendali manuver otomatis faktor permasalahan ini dapat diatasi namun tetap harus dilengkapi dengan pengawasan manusia untuk memastikan bahwa sistem ini dalam keadaan normal baik dan tidak terjadi *error*.

5.2 Saran.

Perancangan sistem manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* pada Kapal Angkatan Laut berjenis Patroli Cepat 40 (PC-40) yang merupakan tugas akhir pendidikan taruna tingkat IV di Akademi Angkatan Laut sebagai salah satu syarat kelulusan. Proses penulisan skripsi ini dibatasi waktu serta keterbatasan peralatan untuk perancangan, sehingga masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dihadapi oleh penulis oleh karena itu

dalam rangka proses pengembangan perancangan agar dapat diaplikasikan di kapal jenis Patroli Cepat 40 (PC-40) diperlukan pengembangan lebih lanjut, dalam upaya mewujudkan sistem tersebut mohon menyarankan:

a. Untuk mendapatkan performa terbaik dalam sistem kendali manuver otomatis kami menyarankan dalam pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan modul sensor kompas untuk memberikan input haluan sasaran sehingga dapat mengunci sasaran dan mengurangi nilai *error*.

b. Dalam proses perancangan dan pengembangan selanjutnya disarankan untuk ditambahkan sistem untuk menghindari terjadinya tabrakan, sehingga ketika kapal berpapasan dengan kapal lain dapat mengambil langkah sesuai dengan Peraturan Pencegahan Tubrukan di Laut (PPTL).

c. Pada saat pengoperasian sistem manuver otomatis berbasis Logika *Fuzzy* di KRI, mohon menyarankan agar ditambahkan dengan sistem pendataan data logger selama penggunaan sehingga dapat diteliti dan dijadikan acuan ketika terjadi kesalahan (*failure*).

d. Sebelum mengaplikasikan sistem tersebut di kapal jenis Patroli Cepat 40 (PC-40) TNI AL, mohon

menyarankan agar proses perancangan dan pengembangan dilaksanakan oleh lembaga litbang atau team peneliti yang memiliki

peralatan yang baik sehingga mengurangi kesalahan pada saat penerapan di kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, S. W. (2006). *Pengenalan sistem propulsi kapal 1*.
- Akbar, R. (2014). *Pemodelan Kapal Perang Kelas Sigma Extended Skala 3 Meter Berbasis Eksperimen*. Program Keahlian, Bidang Instrumentasi, Rekayasa Fisika, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi.
- Erman, Z. (2019). Kontrol Keseimbangan Dengan Menggunakan Sensor MPU 6050 Berbasis Arduino. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Firdaus, N. (2019). *Buku Ajar Mikrokontroler dan Interface*.
- Hermanto, D., Yamato, & Machdi, A. R. (2016). Perancangan Sistem Keamanan Berkendara Roda Dua Menggunakan Arduino Uno Berbasis Sms. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- Hidayat, F. W., Hendriawan, A., Sumantri, B., Arifin, F., Elektronika, J. T., Elektronika, P., & Surabaya, N. (2011). *Desain Sistem Kontrol Autopilot. Desain Sistem Kontrol Autopilot MENGGUNAKAN GPS PADA KAPAL*.
- Källström, C. G. (1996). Guidance and control of ocean vehicles. In *Automatica*
- Kapal, T. (n.d.). *Bab i tahanan kapal 1*.
- Manik, P., Studi, P., Perkapalan, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2012). Analisa Gerakan Seakeeping Kapal Pada Gelombang Reguler. *Kapal*, 4(1).
- Milatina, N. O. (2016). Perancangan Sistem Kendali Manuver Berbasis Logika Fuzzy Untuk Anti Tabrakan Kapal Berdasarkan Nilai DCPA-TCPA. *Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Teknik Fisika*.
- Nafid, A. (2015). *Strategi Manajemen Risiko Dalam Meminimalisir Human Error*.

- Prameswari, L. (2020). Desain Kontroler Pada Sistem Autopilot Kapal Patroli Cepat 40 Meter (PC 40 M). *Universitas Pertamina*.
- Rahman. (2008). Otomatisasi Parkir Kendaraan Berbasis Mikrokontroler AT89S51. *Universitas Islam Negeri (UIN) Malang, Fakultas Sains Dan Teknologi*.
- Riswandi. (2019). *Sistem Kontrol Vertical Garden Menggunakan NodeMCU ESP8266 Berbasis Android*.
- Saelan, A. (2009). Logika Fuzzy. *Struktur Diskrit*, 1(13508029).
- Sekarrini, R. (2018). *Materi Dasar Mekatronika (1)*.
- Triwiyatno, A. (2017). Konsep Umum Sistem Kontrol. *Aris Triwiyatno*, 2.
- Wardana, I. N. K. (n.d.). *Materi 8 : Introduction to Fuzzy Logic*.
- Star, Prima (n.d) Sistem Kontrol diatas kapal.
- Allu, Nicolaus. (2018). Sistem Kendali (Teori dan Contoh Soal Dilengkapi dengan Penyelesaian Menggunakan Matlab).
- Arif Sari, Murat Akkaya. (2015). Fault Tolerance Mechanisms in Distributed Systems.