

**TUGAS AKHIR**

**SISTEM KERJA PROPULSI DAN KENDALI PADA PROTOTIPE KAPAL  
RC BOAT JENIS KAPAL PLATFORM SUPPLY VESSEL (PSVs)**

*Diajukan untuk memenuhi syarat memperoleh  
gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas  
Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera  
Utara*

**Oleh:**

**ABDUL SAMIN HASIBUAN**

**NPM : 2207220100**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2026**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Abdul Samin Hasibuan  
NPM : 2207220100  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Sistem Kerja Propulsi dan Kendali Pada Prototipe Kapal RC Boat Jenis Kapal Platform Supply Vessel (PSVs)  
Bidang ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 01 Mei 2026

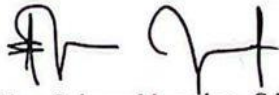
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



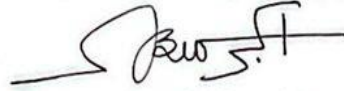
Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T.

Dosen Pembanding I/Penguji



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.

Dosen Pembanding II/Penguji



Benny Oktrialdi, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.pd

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Abdul Samin Hasibuan

Tempat /Tanggal Lahir : Tanjung Raya, 25 April 2003

NPM : 2207220100

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Sistem Kerja Propulsi dan Kendali Pada Prototipe Kapal RC Boat Jenis Kapal Platform Supply Vessel (PSVs)”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 16 Januari 2026

Saya yang menyatakan,

  
Abdul Samin Hasibuan

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi di bidang maritim mendorong adanya inovasi dalam sistem propulsi dan kendali kapal, khususnya melalui penggunaan prototipe sebagai media simulasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kerja propulsi dan sistem kendali pada prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV), serta mengetahui pengaruh sistem kendali terhadap manuver dan stabilitas kapal, dan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem propulsi dan kendali. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya integrasi sistem propulsi dan kendali dalam menghasilkan performa kapal yang optimal, khususnya pada kapal jenis PSV yang membutuhkan ketelitian manuver dan stabilitas tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu perancangan sistem, perakitan prototipe, pengujian di perairan tenang, pengumpulan data, serta analisis data. Parameter yang diuji meliputi kecepatan kapal, respon sistem kendali, kemampuan manuver, dan stabilitas kapal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe kapal mampu mencapai kecepatan yang meningkat seiring dengan penambahan input throttle, dimana hubungan antara kecepatan dan waktu tempuh menunjukkan bahwa sistem propulsi bekerja secara efektif dalam menghasilkan gaya dorong. Pengujian kecepatan kapal dilakukan dengan metode perhitungan kecepatan ( $v = s/t$ ), yang menunjukkan bahwa kapal mampu bergerak stabil pada berbagai variasi kecepatan tanpa mengalami gangguan signifikan terhadap keseimbangan. Pengujian dilakukan dengan beberapa percobaan bukaan gas throttle. Pada kondisi throttle 25%, kapal menghasilkan kecepatan sebesar 2,77 m/s, kemudian meningkat menjadi 3,57 m/s pada throttle 50%, 4,16 m/s pada throttle 75%, dan mencapai kecepatan maksimum sebesar 6,25 m/s pada throttle 100%. Dari sisi sistem kendali, kapal mampu merespon perintah operator secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pergerakan rudder yang dikendalikan oleh servo serta pengaturan kecepatan oleh Electronic Speed Controller (ESC) berjalan dengan baik, sehingga menghasilkan manuver yang presisi dan stabil. Sistem kendali terbukti memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kualitas manuver dan stabilitas kapal. Selain itu, efisiensi sistem propulsi dan kendali dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu kinerja motor, kesesuaian propeller, keselarasan poros dan kopling, kualitas sinyal kendali, kinerja servo, pengaturan ESC, serta hambatan air. Secara keseluruhan, prototipe kapal RC Boat PSV yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik dan memenuhi tujuan penelitian, yaitu menghasilkan sistem propulsi dan kendali yang efektif, responsif, dan stabil.

Kata kunci: RC Boat, PSV, sistem propulsi, sistem kendali, kecepatan kapal, manuver, stabilitas

## **ABSTRACT**

*The development of technology in the maritime field has encouraged innovation in ship propulsion and control systems, particularly through the use of prototypes as simulation media. This study aims to analyze the working system of propulsion and control systems in a prototype RC Boat of the Platform Supply Vessel (PSV) type, as well as to determine the influence of the control system on maneuverability and stability, and to identify the factors affecting the efficiency of propulsion and control systems. This research is motivated by the importance of integrating propulsion and control systems to achieve optimal vessel performance, especially for PSV-type vessels which require high maneuvering precision and stability. The research method used is an experimental method with a descriptive quantitative approach. The study was conducted through several stages, including system design, prototype assembly, testing in calm water conditions, data collection, and data analysis. The parameters tested include vessel speed, control system response, maneuverability, and vessel stability. The results show that the prototype vessel is capable of achieving increasing speeds in accordance with the increase in throttle input. The relationship between travel distance and time indicates that the propulsion system works effectively in generating thrust. The vessel speed was measured using the velocity formula ( $v = s/t$ ), which shows that the vessel can move steadily at various speed levels without significant disturbances to its stability. Testing was conducted with several throttle opening experiments. At 25% throttle, the ship produced a speed of 2.77 m/s, then increased to 3.57 m/s at 50% throttle, 4.16 m/s at 75% throttle, and reached a maximum speed of 6.25 m/s at 100% throttle. In terms of the control system, the vessel is able to respond to operator commands in real time with high accuracy. The rudder movement controlled by the servo and the speed regulation by the Electronic Speed Controller (ESC) operate properly, resulting in precise maneuvering and stable motion. The control system has a significant influence on the maneuverability and stability of the vessel. Furthermore, the efficiency of the propulsion and control systems is influenced by several key factors, including motor performance, propeller suitability, shaft and coupling alignment, control signal quality, servo performance, ESC calibration, and hydrodynamic resistance. Overall, the developed RC Boat PSV prototype performs well and successfully meets the research objectives, providing an effective, responsive, and stable propulsion and control system.*

*Keywords: RC Boat, Platform Supply Vessel (PSV), propulsion system, control system, vessel speed, maneuverability, stability*

## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb.

Tidak ada kata lain untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT kecuali ucapan syukur atas segala nikmat dengan curahan kasih sayang-nya atas selesainya penelitian ini dengan baik, dengan judul “sistem kerja propulsi dan kendali pada prototipe kapal rc boat jenis kapal platform supply vessel(PSVs).

penulisan penelitian ini dimaksudkan untuk melengkapi sebagian persyaratan meraih gelar sarjana di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jurusan Teknik Elektro. dalam menyusun penelitian ini penulis tidak dapat melupakan jasa orang-orang yang telah ikut berperan serta sehingga penelitian ini dapat selesai.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Pada Allah SWT dan terkhusus kepada kedua orang tua saya: Ayahanda Parmohonan Hasibuan Dan Ibu Nurasih Tanjung Terimakasih selalu berjuang tanpa mengenal kata lelah dan menyerah demi mengupayakan yang terbaik untuk kehidupan penulis, beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun beliau mampu mendidik penulis, memotivasi penulis, memberikan dukungan dan semangat serta selalu mengajarkan kebaikan dalam hidup sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. sekali lagi, terimakasih setiap cucur keringat dan kerja keras yang engkau tukarkan menjadi sebuah nafkah hingga anakmu bisa sampai di tahap ini.
2. Bapak Prof. Dr. Agussani, M, AP., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal ST, M. Sc. PH. D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Kepada Ibu Elvy Sahnur Nasution,S.T.,M.T.,selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro,Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Kepada Bapak Benny Oktrialdi,S.T.,M.T.,sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Elektro,Universitas muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Kepada Bapak Assoc.Prof.Faisal Irsan Pasaribu S.T.,S.Pd.,M.T.,sebagai dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di program Studi Teknik Elektro,Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,yang telah banyak memberikan ilmu tentang keteknik elektroan kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik,Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis seperjuangan:Miftah fariz Nst, Azri Adlih,Baihaki Hamdi Sirait,Randa Amanda,serta sahabat-sahabat yang selalu membersamai penulis.
10. Dan seluruh keluarga yang selalu mendoakan dan mensupport penulis sehingga skripsi ini dapat selesai.

Semoga segala bentuk bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari bentuk penyusunan maupun materinya. Kritik konstruktif dari pembaca sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan proposal selanjutnya. Akhir kata, semoga proposal ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca sekalian.

Medan, 05 Februari 2026



Abdul Samin Hasibuan

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Metode Penulisan .....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	8
2.1 Platform Supply Vessel (PSV).....	8
2.1.1 pengertian platform supplay vessel.....	8
2.1.2 Fungsi dan Karakteristik PSV.....	9
2.1.3 Penerapan Konsep PSV Pada Prototipe.....	10
2.2 Rc Boat (Remote Control Boat) .....	10
2.2.2 Pengertian RC Boat .....	10
2.2.2 Komponen Utama Rc Boat .....	11
2.2.3 RC Boat sebagai media Penelitian.....	13
2.3 Prototipe Kapal .....	13
2.3.2 Tujuan Pembuatan Prototipe Kapal .....	14

2.3.3 Batasan Prototpe Dalam penelitian.....	16
2.4 Sistem Propulsi Kapal .....	17
2.4.1 Pengertian Sistem Propulsi .....	17
2.4.2 Motor Penggerak.....	18
2.4.3 Poros (Shaft) .....	19
2.4.4 Kopling .....	22
2.4.5 Rudder.....	24
2.4.6 Propeler.....	26
2.4.7 Kumber Kelistrikan Kapal Prototipe PSV .....	27
2.5 Sistem Kendali Kapal .....	28
2.5.1 Pengertian Sistem Kendali Kapal Prototipe PSV .....	28
2.5.2 Remote Kontrol.....	29
2.5.3 Electronic Speed Controller.....	30
2.5.4 Servo .....	31
2.5.6 Linkage Sistem Kemudi .....	33
2.6 Integrasi Sistem Propulsi dan Sistem Kendali .....	34
2.6.1 Hubungan Sitem Propulsi Dan Sistem Kendali.....	34
2.6.2 Parameter Kinerja Kapal.....	36
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>39</b>
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian.....	39
3.2 Tmepat Dan Waktu Penelitian .....	39
3.2.1 Tempat.....	39
3.2.2 Waktu .....	40
3.3 Objek Dan Subjek Peneliitian .....	40
3.4 Variabel penelitian .....	41
3.4.1 Variabel Bebas .....	41

3.4.2 Variabel Terikat.....	42
3.4.3 Variabel Control.....	43
3.5 Alat dan Bahan .....	44
3.5.1 Alat.....	44
3.5.2 Bahan .....	45
Bahan Sistem Kendali dan Elektronika Digunakan untuk pengendalian: .....	46
3.6 Prosedur Penelitian.....	47
3.7 Teknik Analisi Data .....	48
3.8 Teknik pengumpulan Data.....	48
3.8 Flowchart.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Hasil pengujian Prototipe Kapal RC Boat PSV .....	50
4.1.1 Spesifikasi Teknis Prototipe dan Mesin.....	50
4.1.2 Hasil Pengujian Kecepatan Kapal.....	53
4.1.3 Hasil pengujian sistem propulsi.....	57
4.1.4 Hasil pengujian sistem kendali .....	58
4.1.5 Hasil pengujian manuver kapal.....	58
4.1.6 Hasil pengujian stabilitas kapal .....	59
4.2 Mekanisme kerja sistem propulsi .....	60
4.2.1 Pengaruh Sistem Kendali terhadap Manuver dan Stabilitas.....	60
4.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Propulsi dan Kendali.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA .....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kapal Prototipe PSV .....	8
Gambar 2. 2 Sistem Propulsi kapal .....	17
Gambar 2. 3 Motor penggerak .....	18
Gambar 2. 4 Poros (Shaft).....	19
Gambar 2. 5 Kopling.....	22
Gambar 2. 6 Rudder .....	24
Gambar 2. 7 Propeller .....	26
Gambar 2. 8 sumber kelistrikan kapal prototipe PSV.....	27
Gambar 2. 9 Remote Kontrol dan Receiver.....	29
Gambar 2. 10 Electronic Speed Controller .....	30
Gambar 2. 11 Servo.....	31
Gambar 2. 12 Linkage Sistem Kemudi .....	33
Gambar 3. 1 Flowchart.....	49
Gambar 4. 1 Alur sistem tenaga pada kapal.....	53
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Kecepatan kapal.....	53
Gambar 4. 3 Grafik pengujian kecepatan kapal .....	54
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Sistem Propulsi .....	57
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Sistem Kendali.....	58
Gambar 4. 6 (1) dan (2) Hasil Pengujian Manuver Kapal .....	58
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Stabilitas Kapal.....	59
Gambar 4. 8 Motor Penggerak Kapal .....	61
Gambar 4. 9 Bentuk propeler .....	62
Gambar 4. 10 (1) dan (2) Kopling dan Poros.....	62
Gambar 4. 11 Motor servo .....	63
Gambar 4. 12 Elektronik speed controller (ESC) .....	63

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Waktu.....	40
Tabel 4. 1 Spesifikasi Teknis Engine .....	51
Tabel 4. 2 Pengujian Kecepatan Kapal .....	54

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi di bidang maritim mengalami kemajuan yang sangat pesat, khususnya dalam penerapan sistem otomasi dan kendali pada kapal. sebagai media penelitian, pengujian desain, serta simulasi sistem kerja kapal sebenarnya. Prototipe ini menjadi solusi yang efektif dan efisien dalam mengurangi risiko, biaya operasional, dan waktu pengujian dibandingkan dengan pengujian langsung pada kapal berukuran penuh.

Platform Supply Vessel (PSV) merupakan salah satu jenis kapal yang berperan penting dalam mendukung kegiatan lepas pantai, seperti pengangkutan logistik, peralatan, dan kebutuhan operasional anjungan minyak dan gas. Kapal jenis ini membutuhkan sistem propulsi dan kendali yang andal, stabil, serta responsif untuk menjamin keselamatan dan efisiensi operasional, terutama saat melakukan manuver pada kondisi perairan terbatas dan cuaca yang dinamis [1].

Dalam pengoperasiannya, kapal PSV membutuhkan sistem propulsi dan kendali yang presisi agar mampu bermanuver dengan baik, terutama pada kondisi perairan terbatas dan saat melakukan *dynamic positioning*. Sistem ini melibatkan berbagai komponen kelistrikan dan elektronika, seperti motor listrik, pengendali kecepatan, sistem kontrol arah, serta perangkat kendali jarak jauh. Di zaman yang semakin berkembang, perkembangan era teknologi telah membawa perubahan secara drastis di berbagai bidang termasuk dalam sektor perkapalan [2].

Prototipe RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV) dapat digunakan untuk merepresentasikan sistem propulsi dan kendali kapal sesungguhnya, khususnya dalam hal pengaturan kecepatan motor, arah putaran baling-baling, serta sistem kemudi. Sistem propulsi pada kapal merupakan komponen utama yang menghasilkan daya dorong sehingga kapal dapat melaju dan beroperasi sesuai dengan kebutuhan navigasi. Sistem kontrol, di sisi lain, berfungsi untuk mengatur arah, kecepatan, dan respons kendaraan permukaan terhadap perintah dari operator atau sistem otomatis, sehingga manuver menjadi lebih akurat dan efisien. Pada kapal skala nyata, desain dan integrasi kedua sistem ini melibatkan model

matematis, simulasi dan uji lapangan yang kompleks untuk menjamin keselamatan dan performa operasi. Sebagai contoh, desain sistem propulsi dan kontrol terpadu di kapal laut menunjukkan pentingnya model simulasi yang komprehensif dalam mengembangkan sistem kendali propulsi sebelum penerapan nyata di laut. Namun, biaya pengujian langsung pada kapal ukuran penuh serta risiko keselamatan tinggi menjadi tantangan dalam penelitian maupun pengembangan teknologi bagi mahasiswa maupun peneliti pemula.

Sebagai alternatif yang lebih hemat biaya, penggunaan prototipe kapal berkendali jarak jauh (RC Boat) menjadi sebuah metode praktis untuk mempelajari dan menguji berbagai aspek sistem propulsi dan kontrol secara realistis dalam skala lebih kecil. Melalui prototipe RC Boat, evaluasi komponen seperti motor penggerak, thrust propulsi, hingga respon kendali terhadap input jarak jauh dapat dilakukan dengan lebih mudah. Disebutkan dalam literatur bahwa dalam model kapal skala kecil, thrust dari propeller dan perubahan heading kapal dapat dikontrol secara langsung melalui sinyal PWM untuk menggerakkan motor dan kemudi rudder sesuai perintah operator [3].

Alternatif yang lebih hemat biaya, penggunaan prototipe kapal berkendali jarak jauh (RC Boat) menjadi sebuah metode praktis untuk mempelajari dan menguji berbagai aspek sistem propulsi dan kontrol secara realistis dalam skala lebih kecil. Melalui prototipe RC Boat, evaluasi komponen seperti motor penggerak, thrust propulsi, hingga respon kendali terhadap input jarak jauh dapat dilakukan dengan lebih mudah. Disebutkan dalam literatur bahwa dalam model kapal skala kecil, thrust dari propeller dan perubahan heading kapal dapat dikontrol secara langsung melalui sinyal PWM untuk menggerakkan motor dan kemudi rudder sesuai perintah operator [4].

Sistem kontrol, di sisi lain, berfungsi untuk mengatur arah, kecepatan, dan respons kendaraan permukaan terhadap perintah dari operator atau sistem otomatis, sehingga manuver kapal dapat dilakukan secara stabil dan presisi. Pada prototipe RC Boat jenis PSV, sistem kontrol umumnya terdiri dari pengendali motor (Electronic Speed Controller/ESC), aktuator kemudi (servo), serta unit pengolah data seperti mikrokontroler. Sistem ini memungkinkan simulasi perilaku kapal

nyata dalam skala kecil, termasuk respons terhadap perubahan kecepatan, pembalikan arah baling-baling (*ahead-astern*), serta pengendalian sudut kemudi[5].

Penggunaan prototipe RC Boat sebagai media penelitian memberikan keuntungan dari sisi biaya, fleksibilitas, dan keamanan pengujian. Model skala memungkinkan pengujian algoritma kontrol seperti PID control, fuzzy logic, maupun model predictive control (MPC) sebelum diterapkan pada kapal ukuran penuh. Selain itu, prototipe PSV dapat digunakan untuk mengkaji karakteristik hidrodinamika kapal, interaksi antara sistem propulsi dan kemudi, serta efek gangguan lingkungan seperti arus dan gelombang dalam skala laboratorium atau kolam uji[6].

Dalam konteks kapal PSV, yang berfungsi sebagai kapal pendukung operasi lepas pantai, aspek maneuverabilitas dan ketelitian kontrol menjadi sangat penting, terutama saat melakukan *dynamic positioning* atau manuver di area terbatas. Oleh karena itu, prototipe RC Boat PSV sering digunakan sebagai platform eksperimen untuk pengembangan sistem kendali cerdas dan otonom. Hasil pengujian dari prototipe ini dapat dijadikan dasar untuk validasi model matematis kapal serta peningkatan performa sistem propulsi dan kendali pada kapal sesungguhnya [7].

Pada prototipe RC Boat jenis *Platform Supply Vessel (PSV)*, sistem kontrol tidak hanya berperan sebagai penghubung antara perintah operator dan aktuator, tetapi juga sebagai representasi sistem kendali terintegrasi kapal sesungguhnya. Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat pengolah sinyal, yang menerima input dari sistem kendali jarak jauh atau algoritma otomatis, kemudian menerjemahkannya menjadi sinyal kendali berbentuk *Pulse Width Modulation (PWM)* untuk mengatur kecepatan motor melalui ESC serta sudut kemudi melalui servo. Kemampuan ESC dalam mengatur kecepatan dan arah putaran motor (*ahead-astern*) memungkinkan simulasi operasi kapal secara realistis, termasuk saat kapal melakukan perlambatan, berhenti, atau manuver mundur. Hal ini sangat penting untuk meniru karakteristik manuver kapal PSV yang sering beroperasi di area terbatas. Sementara itu, aktuator kemudi (*servo*) mengendalikan sudut rudder yang

memengaruhi gerak yaw kapal, sehingga respon belok dan stabilitas arah dapat dianalisis secara kuantitatif [8].

Lebih lanjut, sistem kontrol pada prototipe RC Boat PSV dapat dikembangkan dengan algoritma kendali tertutup (closed-loop control) seperti PID, fuzzy logic, atau kontrol adaptif. Dengan menambahkan sensor seperti *gyroscope*, *compass*, atau GPS, sistem mampu melakukan koreksi otomatis terhadap deviasi arah dan kecepatan akibat gangguan eksternal seperti arus atau gelombang. Pendekatan ini memungkinkan prototipe digunakan untuk validasi model matematis dinamika kapal (surge, sway, yaw) serta evaluasi performa sistem propulsi dan kemudi sebelum diterapkan pada kapal ukuran penuh. Dengan demikian, prototipe RC Boat PSV berfungsi sebagai platform eksperimental yang efektif untuk pengujian sistem kendali kapal, baik dalam mode manual (*remote control*) maupun semi-otomatis dan otonom [9].

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun penelitian dengan judul di atas yang dilakukan di lapangan percobaan, bertujuan untuk mengetahui bagaimana sistem kerja propulsi dan kendali pada prototipe kapal rc boat jenis kapal platform supply vessel (PSVs)

1. Bagaimana mekanisme kerja sistem propulsi pada prototipe kapal RC jenis Platform Supply Vessel (PSVs) sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan perintah kendali?
2. Bagaimana sistem kendali pada prototipe kapal RC PSVs mempengaruhi akurasi manuver dan stabilitas saat beroperasi di perairan?
3. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi efisiensi propulsi dan kendali pada prototipe kapal RC PSV

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang di dapat dari permasalahan di atas yaitu sebagai berikut;

1. Untuk mengetahui mekanisme kerja sistem propulsi pada prototipe kapal RC jenis Platform Supply Vessel (PSVs) sehingga kapal dapat bergerak sesuai dengan perintah kendali.

2. Untuk mengetahui sistem kendali pada prototipe kapal RC PSVs mempengaruhi akurasi manuver dan stabilitas saat beroperasi di perairan.
3. Untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi efisiensi propulsi dan kendali pada prototipe kapal RC PSVs.

#### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di paparkan di atas, maka penelitian ini berfokus dari pokok permasalahan yang terjadi dalam rangka untuk mengetahui sistem kerja propulsi dan kendali pada prototipe kapal rc boat jenis kapal platform supply vessel (PSVs):

1. Penelitian ini difokuskan pada analisis mekanisme kerja sistem propulsi pada prototipe kapal RC jenis Platform Supply Vessel (PSVs), meliputi identifikasi komponen propulsi, prinsip kerja motor dan baling-baling, serta respons sistem propulsi terhadap perintah kendali.
2. Penelitian ini melakukan pengujian sistem kendali pada prototipe kapal RC PSVs untuk mengetahui pengaruhnya terhadap akurasi manuver dan stabilitas kapal saat beroperasi di perairan, berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran selama pengujian.
3. Penelitian ini difokuskan pada identifikasi dan evaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem propulsi dan kendali pada prototipe kapal RC PSVs, yang ditinjau dari konfigurasi sistem, metode pengoperasian, serta kondisi pengujian yang digunakan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Apapun manfaat penelitian yang ingin di capai penulis dalam pembuatan skripsi/tugas akhir ini adalah :

1. Memberikan pemahaman mengenai sistem kerja propulsi pada prototipe kapal RC PSVs Penelitian ini memberikan manfaat berupa pemahaman yang jelas mengenai mekanisme kerja sistem propulsi pada prototipe kapal RC jenis Platform Supply Vessel (PSVs), mulai dari komponen penyusun hingga cara kerja dalam menggerakkan kapal sesuai perintah kendali. Pemahaman ini dapat dijadikan acuan dalam perancangan dan

pengembangan sistem propulsi pada kapal RC maupun kapal skala kecil lainnya.

2. Mengetahui pengaruh sistem kendali terhadap manuver dan stabilitas kapal  
Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui bagaimana sistem kendali pada prototipe kapal RC PSVs mempengaruhi akurasi manuver dan stabilitas kapal saat beroperasi di perairan. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan performa pengendalian kapal, sehingga kapal mampu bermanuver dengan baik dan tetap stabil sesuai dengan perintah yang diberikan.
3. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi propulsi dan Kendali Penelitian ini memberikan manfaat dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem propulsi dan kendali pada prototipe kapal RC PSVs, seperti konfigurasi propulsi, sistem kemudi, serta kondisi operasional. Informasi ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan evaluasi dan dasar perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja kapal secara keseluruhan.

## **1.6 Metode Penulisan**

Adapun metode penulisan yang digunakan untuk mendapatkan data dalam membahas permasalahan sesuai dengan judul yang di atas adalah:

1. Studi literatur  
metode ini dilakukan dengan pengumpulan data dari berbagai sumber tentang teori-teori yang mendukung dalam penyelesaian tugas akhir
2. Observasi  
Observasi dilakukan langsung Lokasi penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan data data yang di butuhkan.
3. Analisis  
Menghitung dan memahami data yang diperoleh sehingga dapat meyakinkan system berjalan dengan baik.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Dalam Upaya mencapai pembuatan tugas akhir yang maksimal sehingga mencapai sebuah pemahaman ilmu pengetahuan. Maka penelitian tugas akhir ini disusun dengan sistematika yang terdiri dari 5 bab, yang setiap bab nya memiliki penjelasan berdasarkan pengalaman kerja praktik di perusahaan pelayaran di susun secara berkesinambungan yang dalam pembahasannya merupakan satu rangkaian yang tidak terpisahkan, adapun sistematika penelitian tersebut di susun sebagai berikut:

a. BAB I PENDAHULUAN

dalam bab ini peneliti menjelaskan mengenai uraian dan penjelasan yang melatar belakangi pemilihan judul skripsi, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

b. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menjelaskan mengenai tinjauan Pustaka yang berisikan teori dan Gambaran pengetahuan yang ada saat ini sehingga disusun dalam satu kesatuan utuh untuk dijadikan landasan penyusun kerangka pemikiran dan definisi tentang istilah lain dalam penelitian.

c. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini menjelaskan mengenai jenis metode penelitian, waktu dan tempat penelitian, sumber data, Teknik analisis data dan prosedur penelitian.

d. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan mengenai uraian hasil penelitian dan pemecahan masalah guna memberikan jalan keluar atas masalah yang dihadapi.

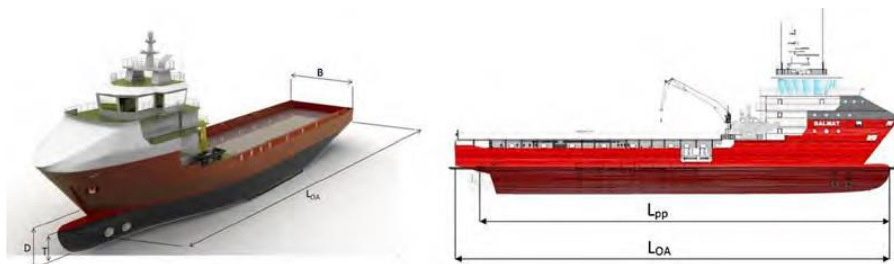
e. BAB V PENUTUP

Pada bagian penutup memberikan kesimpulan dari hasil Analisa dan pembahasan masalah yang menghasilkan saran yang dapat bermanfaat bagi pihak yang terkait sesuai dengan fungsi penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Platform Supply Vessel (PSV)

#### 2.1.1 Pengertian platform supplay vessel



Gambar 2. 1 Kapal Prototipe PSV

Platform Supply Vessel (PSV) adalah kapal pendukung yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasional lepas pantai, khususnya pada industri minyak dan gas. Kapal ini bertugas mengangkut logistik, peralatan, bahan bakar, dan kebutuhan lainnya dari pelabuhan menuju anjungan lepas pantai seperti pada gambar 2.1.

Dalam pengoperasiannya, Platform Supply Vessel tidak hanya berfungsi sebagai sarana transportasi logistik, tetapi juga sebagai bagian penting dari sistem pendukung keselamatan dan efisiensi kerja di lingkungan offshore. Oleh karena itu, sistem propulsi dan sistem kendali pada kapal PSV harus dirancang dengan tingkat keandalan yang tinggi agar kapal mampu bergerak secara presisi, stabil, dan responsif terhadap perintah kendali.

Dalam prosesnya sarana transportasi laut yang digunakan adalah OSV (OffshoreSupportVessel) jenis Supply Vessel/Utility Vessel, selain itu ada juga jenis OSV lain seperti AHTS (Anchor Handling Tug Supply) dan AHT (AnchorHandlingTug). Jenis kapal tersebut dibedakan menurut ukuran kapal dan tenaga mesin kapalnya[10].PSV umumnya memiliki desain lambung yang mengutamakan stabilitas dan kemampuan manuver yang baik, mengingat kapal harus beroperasi di area perairan terbatas di sekitar anjungan lepas pantai. Kapal ini juga dilengkapi dengan dek terbuka yang luas di bagian belakang untuk memudahkan proses bongkar muat peralatan dan material. Selain itu, PSV

dirancang agar mampu beroperasi secara aman dan efisien dalam berbagai kondisi operasional, termasuk saat berlayar dengan muatan penuh maupun saat melakukan pendekatan ke platform.

### **2.1.2 Fungsi dan Karakteristik PSV**

Platform Supply Vessel (PSV) kapal pendukung yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasional lepas pantai, khususnya pada industri minyak dan gas. Kapal ini bertugas mengangkut logistik, peralatan, bahan bakar, dan kebutuhan lainnya dari pelabuhan menuju anjungan lepas pantai. Selain kargo, PSV juga digunakan untuk mengangkut teknisi, operator, dan kru platform. Pengangkutan personel dilakukan dengan standar keselamatan tinggi karena kondisi operasi berada di laut terbuka dengan risiko gelombang dan angin.

PSV mendukung kegiatan bongkar muat di sekitar platform dengan memanfaatkan deck terbuka luas serta bantuan crane platform. Proses ini memerlukan stabilitas dan akurasi posisi kapal agar risiko kecelakaan dapat diminimalkan. PSV juga dilengkapi Dynamic Positioning System (DPS) yang berfungsi untuk menjaga posisi kapal secara otomatis tanpa menggunakan jangkar. Sistem ini sangat penting saat kapal beroperasi di dekat platform offshore[11].

#### **Karakteristik prototipe kapal platform supply vessel (PSV)**

1. Ukuran skala kecil. Prototipe kapal PSV dibuat dalam skala tertentu dari kapal asli, sehingga dimensinya lebih kecil namun tetap merepresentasikan bentuk dan fungsi utama kapal PSV sebenarnya.
2. Dek muatan miniature. Prototipe memiliki dek datar di bagian belakang sebagai simulasi dek kargo kapal PSV, yang digunakan untuk menempatkan beban tiruan atau komponen tambahan guna menguji stabilitas dan kinerja kapal.
3. Stabilitas gerak yang baik. Prototipe dirancang agar memiliki keseimbangan yang baik di air, sehingga tidak mudah oleng dan tetap stabil saat bergerak maupun bermanuver.
4. Kemampuan manuver tinggi. Prototipe dilengkapi dengan sistem kemudi dan propulsi yang memungkinkan perubahan arah secara cepat dan akurat, meniru kemampuan manuver kapal PSV sebenarnya.

5. Sistem propulsi listrik Prototipe menggunakan motor listrik, ESC, dan baterai sebagai sumber tenaga, sehingga lebih praktis, efisien, dan mudah dikontrol selama pengujian.
6. Sistem kendali jarak jauh (RC) Prototipe dikendalikan menggunakan transmitter dan receiver RC, memungkinkan operator mengatur kecepatan dan arah kapal dari jarak jauh.
7. Struktur Lambung Sederhana namun Representatif. Bentuk lambung prototipe dibuat menyerupai kapal PSV asli agar karakteristik hidrodinamika, stabilitas, dan respon kendali dapat diuji secara realistis.

### **2.1.3 Penerapan Konsep PSV Pada Prototipe**

Penerapan konsep Platform Supply Vessel (PSV) pada prototipe bertujuan untuk merepresentasikan fungsi dan karakteristik utama kapal PSV skala penuh ke dalam bentuk model atau prototipe berskala kecil. Prototipe ini digunakan sebagai media penelitian, pengujian sistem, dan simulasi perilaku kapal sebelum diaplikasikan pada kapal sebenarnya. Meskipun ukuran dan kapasitas prototipe lebih kecil, prinsip kerja yang diterapkan tetap mengacu pada konsep dasar PSV, seperti sistem propulsi, sistem kendali, manuverabilitas, dan stabilitas kapal [8].

## **2.2 Rc Boat (Remote Control Boat)**

### **2.2.2 Pengertian RC Boat**

RC Boat (Remote Control Boat) merupakan kapal protipe tanpa awak yang dikendalikan dari jarak jauh menggunakan sistem kendali berbasis gelombang radio. RC Boat dirancang untuk dapat bergerak, bermanuver, dan menjalankan fungsi tertentu di permukaan air tanpa perlu kehadiran operator di atas kapal. Kendali jarak jauh ini memungkinkan pengguna mengatur arah, kecepatan, dan manuver kapal secara real time melalui perangkat pemancar (transmitter). Dalam perkembangan teknologi kelautan dan perkapalan, Rc Boat digunakan sebagai media penelitian dan pengujian sistem kapal. RC Boat sering dimanfaatkan sebagai model prototipe berskala kecil untuk merepresentasikan perilaku kapal skala penuh, baik dari sisi hidrodinamika, stabilitas, maupun sistem kendali. Penggunaan RC Boat sebagai prototipe memberikan keuntungan berupa biaya yang lebih rendah, kemudahan pengujian, serta fleksibilitas dalam melakukan modifikasi desain.

RC Boat umumnya dilengkapi dengan berbagai sistem utama yang menyerupai kapal sebenarnya, seperti sistem propulsi, sistem kemudi, dan sistem kendali. Sistem propulsi biasanya menggunakan motor listrik yang menggerakkan baling-baling, sedangkan sistem kemudi diatur melalui rudder atau thruster. Sistem kendali RC Boat dapat berupa kendali manual menggunakan remote control maupun kendali berbasis mikrokontroler yang memungkinkan penerapan algoritma kendali tertentu, seperti pengaturan kecepatan dan arah secara otomatis.

### **2.2.2 Komponen Utama Rc Boat**

RC Boat tersusun dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk memungkinkan kapal bergerak, bermanuver, dan dikendalikan dari jarak jauh. Setiap komponen memiliki fungsi spesifik yang memengaruhi kinerja, stabilitas, serta keandalan operasi RC Boat. Adapun komponen utama RC Boat dari judul di atas Adalah:

1. Hull (Lambung Kapal)

Hull merupakan struktur utama RC Boat yang berfungsi sebagai badan kapal. Lambung berperan penting dalam menentukan stabilitas, daya apung, dan perilaku hidrodinamika kapal di atas air. Bentuk hull RC Boat biasanya disesuaikan dengan fungsi kapal yang direpresentasikan, seperti bentuk displacement hull untuk prototipe kapal kerja (PSV) atau planing hull untuk kapal cepat.

2. Sistem propulsi

Sistem propulsi merupakan komponen yang berfungsi menghasilkan gaya dorong agar RC Boat dapat bergerak maju atau mundur. Sistem ini umumnya terdiri dari motor listrik, poros (shaft), dan baling-baling (propeller). Pada beberapa RC Boat, terutama yang meniru kapal kerja seperti PSV, digunakan sistem propulsi ganda untuk meningkatkan stabilitas dan kemampuan manuver.

3. Sistem Kemudi (Steering System)

Sistem kemudi berfungsi untuk mengatur arah gerak RC Boat. Komponen utama pada sistem ini adalah rudder dan servo motor. Ketika servo menerima perintah dari sistem kendali, sudut rudder akan berubah sehingga kapal dapat berbelok ke kanan atau kiri.

4. Sistem kendali (Kontrol system)

Sistem kendali merupakan pusat pengaturan seluruh pergerakan RC Boat.

Sistem ini dapat berupa:

- a. Kendali manual menggunakan remote Control
- b. Kendali berbasis mikrokontroler
- c. Sistem semi-otomatis atau otomatis

5. Sistem Komunikasi (Transmitter dan Reciper)

Sistem Komunikasi terdiri dari Transmitter (pemancar) dan Reciper (penerima) yang berfungsi mengirimkan dan menerima sinyal kendali. Transmitter dioperasikan oleh pengguna, sedangkan reciper di pasang di Rc Boat.

6. Sistem Catu Daya (Power Supply)

Sistem Catu Daya menyediakan energi listrik bagi seluruh komponen RC Boat. umumnya menggunakan baterai lithium-ion atau Lithium Polymer (Li-Po) karena memiliki kepadatan energi tinggi dan bobot ringan.

7. Electronic Speed Controller (ESC)

ESC berfungsi mengatur kecepatan dan arah putaran motor listrik berdasarkan sinyal dari sistem kendali. ESC menjadi penghubung antara baterai, motor, dan reciper atau mikrokontroler.

8. Struktur dan perangkat pendukung

Komponen pendukung meliputi:

- a. Dudukan motor
- b. Dudukan baterai
- c. Sistem kedap air (waterproofing)
- d. Kabel dan konektor

9. Integrasi Sistem RC Boat

Semua komponen Rc Boat harus terintegrasi dengan baik agar dapat terintegrasi dengan optimal.

### **2.2.3 RC Boat sebagai media Penelitian**

Penggunaan RC Boat sebagai media penelitian didasarkan pada beberapa pertimbangan utama. Pertama, RC Boat memungkinkan pengujian dilakukan dengan biaya relatif rendah dibandingkan penggunaan kapal skala penuh. Kedua, RC Boat mudah dimodifikasi, sehingga peneliti dapat melakukan perubahan desain atau sistem secara cepat sesuai kebutuhan penelitian. Ketiga, RC Boat memberikan tingkat keselamatan yang lebih tinggi karena pengujian dilakukan tanpa awak kapal. Dengan kemampuannya sebagai prototipe berskala kecil, RC Boat menjadi media penelitian yang efektif dalam pengembangan dan evaluasi sistem kapal. Penggunaan RC Boat memungkinkan pengujian dilakukan secara aman, efisien, dan ekonomis, sehingga mendukung pengembangan teknologi perkapalan secara berkelanjutan.

## **2.3 Prototipe Kapal**

### **2.3.1 Pengertian Prototipe Kapal**

Prototipe kapal merupakan representasi awal dari kapal skala penuh yang dirancang dalam ukuran skala tertentu atau sebagai model fungsional dengan tujuan untuk memvalidasi dan mengevaluasi desain serta kinerja teknis kapal sebelum direalisasikan dalam bentuk sebenarnya. Prototipe ini digunakan sebagai media eksperimental untuk menganalisis karakteristik perilaku kapal, meliputi aspek hidrodinamika, stabilitas, kemampuan manuver, serta kinerja sistem propulsi dan sistem kendali. Pengembangan prototipe kapal didasarkan pada prinsip kesebangunan (similarity), baik secara geometris maupun dinamis, sehingga respons gerak prototipe diharapkan mampu merepresentasikan perilaku kapal skala penuh dalam batasan tertentu.

Penggunaan prototipe kapal dalam penelitian memungkinkan proses pengujian dilakukan secara lebih terkontrol, efisien, dan aman, sekaligus mengurangi risiko kesalahan desain pada tahap implementasi. Oleh karena itu, prototipe kapal memiliki peran strategis dalam proses perancangan, pengembangan, dan evaluasi teknologi perkapalan, khususnya sebagai tahap awal sebelum penerapan pada kapal operasional[12].

### 2.3.2 Tujuan Pembuatan Prototipe Kapal

Pembuatan prototipe kapal memiliki tujuan utama sebagai tahap awal dalam proses perancangan dan pengembangan kapal sebelum direalisasikan dalam ukuran dan kondisi operasional sebenarnya. Prototipe kapal berfungsi sebagai media evaluasi teknis yang memungkinkan perancang dan peneliti untuk menguji konsep desain, sistem, serta performa kapal secara langsung dan terkontrol. Prototipe kapal dibuat tidak hanya untuk memvalidasi desain dasar, tetapi juga untuk menguji performa sistem propulsi, kemudi, dan kendali dalam kondisi terkendali. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan model skala atau miniatur kapal, termasuk uji hidrodinamika lambung dalam water channel serta pengembangan wahana tak berawak menggunakan simulasi dan uji model, penting untuk meminimalkan risiko kesalahan desain dan meningkatkan akurasi performa sebelum kapal skala penuh direalisasikan[13]. Tujuan pembuatan prototipe kapal dapat dijelaskan melalui beberapa aspek berikut.

1. Memvalidasi Desain kapal

Salah satu tujuan utama pembuatan prototipe kapal adalah untuk memvalidasi desain kapal yang telah dirancang secara teoritis dan numerik. Desain kapal yang dihasilkan melalui perhitungan dan simulasi komputer belum tentu sepenuhnya sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Oleh karena itu, prototipe kapal digunakan untuk memastikan bahwa bentuk lambung, ukuran utama, serta tata letak komponen telah memenuhi kriteria desain yang diinginkan. Melalui pengujian prototipe, potensi kesalahan desain dapat diidentifikasi sejak dini, sehingga dapat dilakukan perbaikan sebelum kapal dibangun dalam skala penuh.

2. Menguji Karakteristik Hidronamika Kapal

Tujuan penting lainnya adalah untuk menguji karakteristik hidronamika kapal, seperti tahanan kapal, stabilitas, dan perilaku gerak di atas air. Prototipe kapal memungkinkan peneliti untuk mengamati bagaimana kapal berinteraksi dengan fluida, baik dalam kondisi diam maupun bergerak. Pengujian hidrodinamika menggunakan prototipe memberikan gambaran mengenai efisiensi desain lambung serta potensi peningkatan performa

kapal, terutama dalam hal pengurangan hambatan dan peningkatan stabilitas.

### 3. Mengevaluasi Sistem Propulsi

Prototipe kapal digunakan sebagai media untuk mengevaluasi kinerja sistem propulsi, termasuk pemilihan jenis motor, konfigurasi baling-baling, serta sistem transmisi tenaga. Dengan menggunakan prototipe, peneliti dapat menguji pengaruh variasi daya propulsi terhadap kecepatan dan respons gerak kapal. Dalam konteks kapal kerja seperti Platform Supply Vessel (PSV), pengujian sistem propulsi pada prototipe sangat penting untuk mengetahui kemampuan kapal dalam manuver, terutama saat membawa muatan atau beroperasi di perairan terbatas.

### 4. Menguji Sistem Kendali dan Manuver

Tujuannya adalah untuk menguji sistem kendali dan kemampuan manuver kapal. Prototipe kapal memungkinkan implementasi dan pengujian berbagai metode kendali, baik manual maupun otomatis. Sistem kemudi, kendali kecepatan, dan sistem propulsi diferensial dapat diuji secara langsung untuk mengetahui tingkat respons dan akurasi. Pengujian ini sangat berguna untuk pengembangan sistem kendali lanjutan, seperti heading control dan dynamic positioning, sebelum diterapkan pada kapal skala penuh.

### 5. Mengurangi Resiko dan Biaya Pengembangan

Pembuatan prototipe kapal bertujuan untuk mengurangi risiko teknis dan biaya pengembangan. Kesalahan desain yang ditemukan pada tahap pembangunan kapal sebenarnya dapat menimbulkan kerugian besar. Dengan menggunakan prototipe, potensi kegagalan dapat diidentifikasi dan diminimalkan sejak tahap awal.

Dengan berbagai tujuan tersebut, pembuatan prototipe kapal menjadi tahap yang sangat penting dalam proses perancangan dan pengembangan kapal. Prototipe memungkinkan evaluasi desain dan sistem kapal dilakukan secara komprehensif, sehingga meningkatkan keandalan dan efisiensi kapal sebelum diterapkan dalam skala penuh.

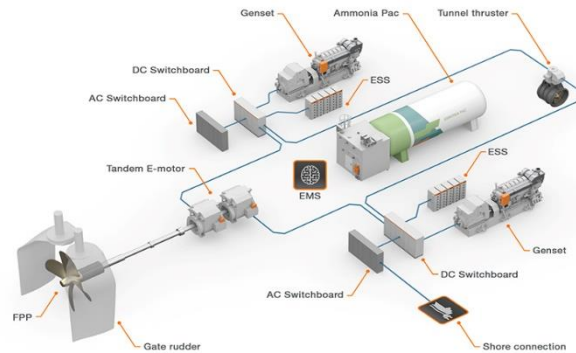
### **2.3.3 Batasan Prototipe Dalam penelitian**

Batasan prototipe dalam penelitian ini ditetapkan untuk memperjelas ruang lingkup pembahasan serta menghindari pembahasan yang terlalu luas. Prototipe yang digunakan merupakan kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV) dalam skala kecil, yang difokuskan sebagai media pengujian sistem propulsi dan sistem kendali kapal. Penelitian ini dibatasi pada perancangan, perakitan, dan pengujian sistem propulsi dan sistem kendali, tanpa membahas secara mendalam aspek desain struktur lambung, kekuatan material, serta analisis hidrodinamika kapal secara komprehensif. Bentuk dan ukuran lambung prototipe dibuat sederhana dan disesuaikan dengan kebutuhan pemasangan komponen propulsi dan kendali.

Selain itu, sistem kendali yang digunakan dibatasi pada kendali manual menggunakan remote control, sehingga penelitian ini tidak mencakup sistem kendali otomatis, sistem navigasi berbasis sensor, maupun pengendalian berbasis komputer atau mikrokontroler tingkat lanjut. Pengujian prototipe dilakukan pada kondisi perairan tenang, sehingga pengaruh faktor lingkungan seperti gelombang besar, arus kuat, dan angin kencang tidak menjadi fokus pembahasan. Parameter pengujian juga dibatasi pada kemampuan manuver, respon pengendalian, dan kestabilan gerak kapal, tanpa mengkaji efisiensi energi secara mendalam atau performa jangka panjang prototipe. Dengan adanya batasan ini, penelitian diharapkan dapat lebih terarah dan fokus dalam mengevaluasi kinerja sistem propulsi dan sistem kendali pada prototipe kapal RC PSV.

## 2.4 Sistem Propulsi Kapal

### 2.4.1 Pengertian Sistem Propulsi



Gambar 2. 2 Sistem Propulsi kapal

Sistem propulsi kapal adalah keseluruhan perangkat yang menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kapal dan mempertahankan kecepatannya di air. Sistem ini terdiri dari mesin utama sebagai sumber tenaga, sistem transmisi untuk menyalurkan tenaga, serta perangkat penggerak seperti baling-baling (propeller) atau waterjet yang menghasilkan gaya dorong (thrust) seperti pada gambar 2.2.

Propulsi merupakan komponen fundamental dalam teknik perkapalan karena secara langsung memengaruhi kemampuan kapal untuk mencapai kecepatan desain, manuverabilitas, efisiensi bahan bakar, dan kenyamanan operasi. Pemilihan sistem propulsi yang tepat bergantung pada jenis kapal, kebutuhan operasional, dan karakteristik putaran mesin serta hambatan kapal yang terjadi selama pelayaran[14].

Propulsi dapat dirancang dengan berbagai konfigurasi, mulai dari sistem konvensional diesel-mechanical, diesel-electric, hingga hybrid propulsion yang memadukan mesin pembakaran internal dengan motor listrik untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi. Pengembangan konsep propulsi modern juga mencakup teknologi kendali cerdas (neural network) dan inovasi seperti waterjet propulsion untuk meningkatkan efisiensi dorong pada kapal berkecepatan tinggi atau kapal patroli.

### 2.4.2 Motor Penggerak

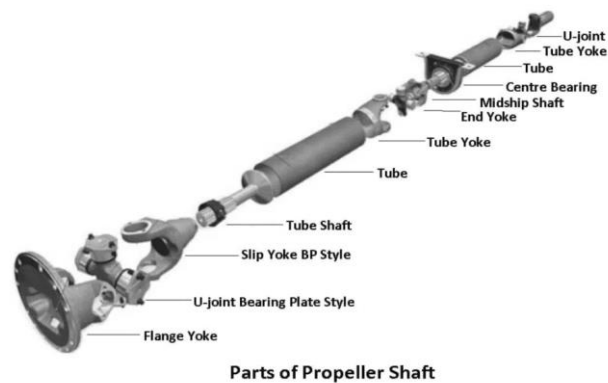


Gambar 2. 3 Motor penggerak

Gambar 2.3 merupakan motor penggerak pada kapal Platform Supply Vessel (PSV) yang berfungsi sebagai sumber tenaga utama yang menggerakkan sistem propulsi kapal. Umumnya, kapal PSV menggunakan mesin diesel berdaya besar atau kombinasi diesel-electric untuk memenuhi kebutuhan operasi yang menuntut torsi tinggi, keandalan, serta kemampuan manuver presisi. Integrasi motor penggerak dengan sistem propulsi dan sistem kendali memungkinkan kapal PSV beroperasi secara efektif dalam mendukung kegiatan lepas pantai, khususnya pada kondisi operasi yang memerlukan pengendalian posisi dan kecepatan secara akurat.

Pemilihan motor penggerak yang sesuai dengan karakteristik kapal, termasuk mesin utama dan propeller, sangat menentukan performa sistem propulsi kapal. Perencanaan propeller dan engine matching penting untuk memastikan thrust optimum dan efisiensi bahan bakar, sedangkan integrasi motor listrik atau hybrid mampu meningkatkan efisiensi energi dan pengendalian kecepatan sesuai kebutuhan operasional kapal[9].

### 2.4.3 Poros (Shaft)



Gambar 2. 4 Poros (Shaft)

Poros (shaft) kapal merupakan komponen mekanis penting dalam sistem propulsi kapal yang berfungsi sebagai media penyalur tenaga mekanik dari mesin utama ke baling-baling (propeller) seperti pada gambar 2.4.

Pada kapal seperti Platform Supply Vessel (PSV), poros ini meneruskan momen puntir (torque) yang dihasilkan oleh mesin atau motor listrik melalui gearbox ke baling-baling, sehingga menghasilkan gaya dorong (thrust) yang mendorong kapal maju atau mundur. Poros kapal harus dirancang kuat terhadap beban puntir (torsion), beban lentur, dan tegangan siklik akibat perubahan putaran dan kondisi laut, serta harus tahan terhadap getaran dan kelelahan material selama operasi jangka panjang. Peran poros sangat krusial karena kegagalan poros dapat menyebabkan gangguan serius terhadap sistem propulsi kapal secara keseluruhan dan bahkan menimbulkan downtime operasional[3].

#### Peran Poros dalam Sistem Propulsi

Secara fungsional, poros :

- a. Mentransfer torsi dari motor ke propeler, sehingga propeler mampu memutar pada kecepatan yang sesuai dengan kebutuhan dorong kapal.
- b. Menahan beban mekanis seperti momen puntir (*torque*), gaya geser, dan beban lentur selama operasi karena gaya hidrodinamika dan beban dinamis perairan.

- c. Bekerja bersama bantalan/bearing untuk memberikan rotasi yang halus dan mengurangi gesekan antara poros, housing, dan elemen lain di sekitar stern tube atau saluran shaft.

Dalam berbagai penelitian teknis tentang poros propeller kapal, beberapa karakteristik desain utama antara lain:

- a. Bahan material

Poros umumnya dibuat dari material baja paduan berkekuatan tinggi atau baja tahan karat (*stainless steel*) karena harus mampu menahan beban mekanis yang besar dan tahan terhadap korosi air laut

- b. Dimensi poros

Tinggi diameter poros dan panjang poros ditentukan berdasarkan torsi yang harus diangkut serta panjang lintasan shaft di dalam hull kapal atau modelnya. Poros yang terlalu kecil bisa mengalami kegagalan material akibat beban puntir (*torsion*) atau kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*)

- c. Beban dan tegangan

Dalam penelitian poros kapal yang lebih besar, tegangan von Mises dan tegangan geser dievaluasi melalui metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk memastikan bahwa poros memiliki keamanan struktural yang memadai di bawah beban operasional.

Struktur Poros pada Model/Kapal Kecil (Termasuk RC Boat) Meskipun studi penelitian di atas umumnya membahas kapal nyata, prinsip dasar poros tetap sama pada prototipe RC boat yaitu sebuah batang panjang yang mentransmisikan torsi dari motor listrik ke propeler melalui coupling atau sambungan langsung. Dalam setup model RC:

- a. Shaft umumnya terbuat dari baja tahan karat atau paduan ringan untuk menahan beban rotasi dan mencegah korosi.
- b. Shaft dipasang dalam tube (selubung kecil) yang juga berfungsi sebagai bearing sederhana, sehingga shaft dapat berputar bebas minim gesekan, sementara tube membantu mencegah masuknya air ke dalam hull.

- c. Bearing kecil atau bushings sering digunakan pada kedua ujung tube untuk menopang shaft, mengurangi gesekan, dan menjaga keselarasan putaran.

#### Masalah Teknik pada Poros Propeller

Dalam aplikasi praktis, beberapa isu teknis yang sering muncul pada poros meliputi:

- a. Ketidaksejajaran shaft dan bearing menyebabkan gesekan berlebih, panas, dan efisiensi propulsi yang menurun.
- b. Korosi dan keausan akibat lingkungan perairan, karena shaft sering bersentuhan dengan air laut/air tawar. Maka material harus dipilih yang tahan korosi.
- c. Kelelahan material akibat putaran berulang menyebabkan risiko kegagalan shaft jika tidak dikonstruksi dengan benar. Penelitian kekuatan poros menggunakan analisis tegangan sering dilakukan untuk memastikan usia pakainya.

Poros propeller mentransmisikan torsi dari motor penggerak ke propeler sehingga gaya dorong (*thrust*) dapat dihasilkan saat propeler berputar. Poros ini menahan berbagai beban mekanis seperti momen puntir, gaya geser, dan lentur yang timbul akibat interaksi hidrodinamika kapal dengan lingkungan air. Material poros dipilih dari baja berkekuatan tinggi atau stainless steel agar tahan terhadap korosi dan beban operasional yang tinggi, sementara dimensinya ditentukan berdasarkan torsi motor dan beban yang diharapkan. Selain itu, poros dipasang dalam tube dengan bearing atau bushings pada kedua ujungnya untuk menopang rotasi secara halus dan mengurangi gesekan. Desain dan pemilihan material yang tepat penting untuk memastikan umur pakai, efisiensi propulsi, dan stabilitas sistem propulsi kapal prototipe.

### 2.4.4 Kopling



Gambar 2. 5 Kopling

Kopling (*coupling*) adalah komponen mekanis yang menghubungkan dua poros untuk mentransmisikan torsi dari motor penggerak ke poros propeler. Kopling dirancang tidak sekadar ‘menyambungkan’ poros, tetapi juga untuk mengatasi permasalahan *misalignment*, meredam getaran, dan meningkatkan keandalan sistem transmisi tenaga sehingga propulsi kapal bekerja efisien dan aman bahkan di bawah beban dinamis seperti pada gambar 2.5.

Dalam konteks sistem propulsi kapal nyata dan prototipe, kopling menjadi elemen penghubung antara motor, shaft, dan komponennya sehingga torsi dapat diteruskan tanpa gangguan besar, sekaligus membantu mengurangi *stress* mekanis yang terjadi akibat variasi beban operasional.

#### Fungsi Kopling dalam Propulsi

##### Fungsi utama kopling meliputi

- a. Transmisi Torsi: Mentransmisikan tenaga putar dari motor ke poros propeler tanpa kehilangan daya secara signifikan.
- b. Mengatasi Ketidaksejajaran (*Misalignment*): Kopling elastis atau fleksibel mampu mengatasi ketidaksejajaran kecil antara poros motor dan poros propeler yang sering terjadi pada sistem propulsi.

- c. Redaman Getaran dan Kejut: Dalam sistem propulsi, vibrasi dan kejutan dapat terjadi akibat perubahan beban atau kondisi lingkungan; kopling fleksibel dapat meredam sebagian getaran ini dan melindungi komponen dari kerusakan dini.
- d. Perlindungan Struktur Shaft: Kopling juga membantu mencegah tegangan berlebih pada shaft dan komponen lain yang dapat menyebabkan kegagalan material atau kelelahan.

#### Jenis Kopling yang Sering Digunakan

Dalam sistem propulsi kapal (termasuk prototipe), kopling yang umum dibahas dalam studi teknik adalah:

- a. Kopling Kaku (Rigid Coupling)  
Kopling jenis ini mentransmisikan torsi secara langsung tanpa elemen elastis. Kopling kaku efisien dalam transmisi daya, tetapi tidak mampu menahan kesalahan penyelarasan poros
- b. Kopling Elastis / Fleksibel (Flexible Coupling)
- c. Jenis ini memiliki elemen elastis yang memungkinkan sedikit pergeseran atau misalignment antara poros motor dan poros propeler. Kopling jenis ini banyak direkomendasikan dalam sistem propulsi modern karena mengurangi tegangan dinamis dan getaran.

#### Fungsi Kopling dalam Sistem Propulsi RC Boat

Berdasarkan penelitian tentang sistem transmisi poros kapal dan mekanisme penggerak, kopling memiliki fungsi utama sebagai berikut:

- a. Mentransmisikan torsi dari motor ke poros propeler secara efisien,
- b. Mengakomodasi ketidaksejajaran poros (misalignment), baik secara sudut maupun paralel,
- c. Meredam getaran dan beban kejut, sehingga melindungi motor dan poros dari kerusakan,
- d. Meningkatkan umur pakai sistem propulsi dengan mengurangi tegangan mekanis berlebih.

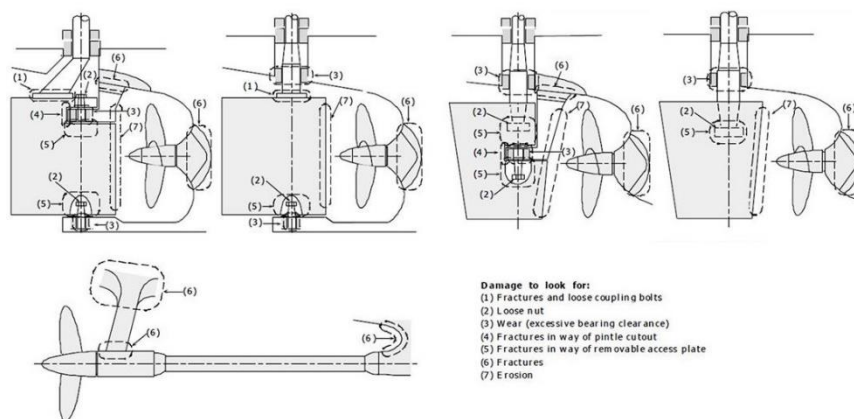
Dalam konteks RC boat, fungsi ini sangat penting karena keterbatasan ruang dan tingkat presisi pemasangan poros yang relatif lebih rendah dibandingkan kapal skala penuh.

### Jenis Kopling yang Umum Digunakan pada RC Boat

Berdasarkan literatur mekanika transmisi dan studi sistem propulsi kapal kecil, jenis kopling yang sering digunakan pada RC boat antara lain:

- Rigid Coupling.** Menghubungkan dua poros secara kaku tanpa elemen elastis. Digunakan bila poros motor dan poros propeler memiliki kesejajaran yang sangat presisi. Namun, jenis ini kurang mampu meredam getaran.
- Flexible Coupling.** Menggunakan elemen elastis (karet, poliuretan, atau pegas logam) untuk memungkinkan sedikit penyimpangan poros. Jenis ini paling umum digunakan pada RC boat karena mampu menyerap getaran, mengurangi keausan poros, meningkatkan keandalan sistem.
- Universal joint coupling.** Digunakan ketika poros motor dan poros propeler membentuk sudut tertentu. Jenis ini memungkinkan transmisi torsi meskipun terdapat ketidaksejajaran sudut yang signifikan.

### 2.4.5 Rudder



Gambar 2. 6 Rudder

Rudder atau kemudi kapal merupakan komponen penting dalam sistem kendali kapal yang berfungsi untuk mengatur arah gerak kapal. Rudder bekerja dengan cara membelokkan aliran air yang mengalir di belakang kapal, khususnya di area sekitar propeller, sehingga menghasilkan gaya lateral yang menyebabkan

kapal berbelok ke kiri atau ke kanan sesuai dengan perintah kendali. Pada kapal, termasuk kapal RC, rudder dipasang di bagian buritan (belakang) dan terhubung dengan sistem penggerak kemudi, seperti roda kemudi, sistem hidrolis, atau servo motor pada kapal RC. Gerakan sudut rudder menentukan besar kecilnya perubahan arah kapal, sehingga sudut kemudi yang lebih besar akan menghasilkan belokan yang lebih tajam seperti pada gambar 2.6.

Rudder bekerja berdasarkan prinsip hidrodinamika, yaitu dengan mengubah arah aliran air yang melewati permukaan kemudi. Ketika rudder berada pada posisi lurus, aliran air tetap simetris sehingga kapal bergerak lurus. Namun, ketika rudder dibelokkan ke satu sisi, aliran air menjadi tidak simetris dan menghasilkan perbedaan tekanan di kedua sisi permukaan rudder. Perbedaan tekanan ini menimbulkan gaya samping (*side force*) yang memaksa buritan kapal menyimpang dari lintasan semula, sehingga kapal berbelok.

Rudder sangat mempengaruhi kemampuan manuver, respon kendali, dan kestabilan gerak kapal RC. Rudder yang dirancang dan dipasang dengan baik akan menghasilkan belokan yang halus, respon cepat terhadap perintah kendali, serta menjaga kestabilan arah kapal saat bergerak lurus. Sebaliknya, rudder yang terlalu kecil dapat menyebabkan kapal sulit berbelok, sedangkan rudder yang terlalu besar dapat menyebabkan belokan terlalu tajam dan mengurangi kestabilan kapal. Oleh karena itu, pemilihan ukuran dan posisi rudder harus disesuaikan dengan ukuran kapal, kecepatan, dan karakteristik sistem propulsi.

## 2.4.6 Propeler



Gambar 2. 7 Propeler

Propeller kapal adalah salah satu komponen utama sistem propulsi yang berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik dari mesin atau motor penggerak menjadi gaya dorong (thrust) yang mendorong kapal maju atau mundur. Propeller bekerja dengan prinsip hidrodinamika. ketika baling-baling berputar, bentuk sudu-sudunya menghasilkan perbedaan tekanan pada fluida air, sehingga menghasilkan gaya dorong ke arah yang diinginkan seperti pada gambar 2.7.

Pada kapal Platform Supply Vessel (PSV), propeller harus dirancang dan dipilih sedemikian rupa agar mampu menghasilkan thrust yang cukup untuk menghadapi hambatan air, serta memiliki efisiensi tinggi, kemampuan manuver baik, serta ketahanan terhadap fenomena seperti kavitasi. Propeller pada PSV seringkali berupa fixed pitch propeller (FPP) atau controllable pitch propeller (CPP), tergantung kebutuhan manuver dan efisiensi operasional di laut lepas[4].

Dalam perancangan propeller, sejumlah parameter penting yang mempengaruhi kinerja propeller antara lain:

- a. Diameter: Ukuran keseluruhan propeller dari ujung bilah ke ujung bilah yang berlawanan. Pengaruhnya terhadap besaran gaya dorong dan torsi yang diperlukan.
- b. Pitch: Jarak teoretis yang ditempuh per satu putaran propeller, memengaruhi kecepatan kapal.
- c. Ratio dan koefisien advance (J): Menentukan efisiensi propeller dalam hubungannya dengan kecepatan kapal dan putaran propeller.

Penelitian tentang propeller kapal ikan menegaskan bahwa karakteristik propeller seperti tahanan kapal, rasio pitch terhadap diameter ( $P/D$ ), dan koefisien area efektif ( $A_e/A_o$ ) harus dianalisis untuk menghasilkan sistem propulsi yang optimal.

Untuk menghasilkan performa propulsi yang efisien, propeller tidak bisa berdiri sendiri; ia harus disinkronkan dengan mesin penggerak utama. Sinkronisasi ini memastikan bahwa propeller berputar pada rentang putaran dan daya yang sesuai dengan output mesin, sehingga kapal mendapatkan thrust optimal tanpa boros energi atau meningkatnya beban kerja mesin. Beberapa studi ilmiah, terutama yang menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics), menunjukkan bahwa analisis numerik terhadap kinerja propeller memberikan informasi penting tentang:

- a. Thrust yang dihasilkan pada berbagai putaran rpm,
- b. Torsi yang dibutuhkan oleh sistem propulsi,
- c. Distribusi tekanan dan gaya pada bilah propeller,
- d. Efisiensi hidrodinamik propeller di kondisi operasi yang berbeda.

Analisis CFD ini sering digunakan sebagai tahap awal desain propeller sebelum dilakukan pembuatan prototipe fisik, karena dapat memperkirakan performa propeller secara realistis tanpa uji fisik langsung.

#### 2.4.7 Kumber Kelistrikan Kapal Prototipe PSV



Gambar 2. 8 sumber kelistrikan kapal prototipe PSV

Gambar 2.8 menunjukkan bahwa untuk kapal prototipe PSV seperti model RC atau all-electric prototype yang digunakan dalam penelitian sumber listrik seringkali dibuat lebih sederhana berupa baterai DC (seperti Li-Po atau Li-ion)

yang mensuplai kebutuhan motor listrik, electronic speed controller (ESC), mikrokontroler, dan system kendali/sensor. Hal ini memungkinkan pengujian sistem tanpa mesin pembakaran, sekaligus mengurangi kompleksitas dan risiko eksperimen[7].

Sumber kelistrikan pada kapal prototipe PSV berfungsi sebagai penyedia energi listrik utama untuk sistem propulsi dan kendali elektronik pada model. Dalam prototipe, baterai isi ulang seperti Li-Po atau Li-ion umumnya dipilih sebagai sumber daya karena kemudahan pengisian, kestabilan tegangan, dan kemampuannya mensuplai motor listrik dan sistem kontrol. Sistem distribusi daya memastikan setiap komponen menerima tegangan yang sesuai melalui regulator dan konverter DC-DC. Konsep ini merepresentasikan prinsip kelistrikan kapal skala penuh, di mana generator, baterai cadangan, dan sistem manajemen energi bekerja bersama untuk memenuhi kebutuhan listrik seluruh kapal.

## **2.5 Sistem Kendali Kapal**

### **2.5.1 Pengertian Sistem Kendali Kapal Prototipe PSV**

Sistem kendali kapal merupakan rangkaian perangkat yang memungkinkan kapal mempertahankan arah, kecepatan, dan posisi yang diinginkan melalui pengolahan masukan sensor dan pengaturan aktuator seperti rudder dan thruster. Berbagai metode kendali seperti PID, fuzzy logic, dan model predictive control banyak digunakan dalam pengendalian kapal skala penuh maupun prototipe. Sebagai contoh, Dynamic Positioning System (DPS) memanfaatkan kontrol otomatis untuk menjaga posisi kapal terhadap gangguan angin dan arus air, sementara implementasi kontrol berbasis mikrokontroler pada prototipe kapal menunjukkan kemampuan sistem kendali untuk mengatur motor brushless dan sudut kemudian secara stabil[15].

## 2.5.2 Remote Kontrol



Gambar 2. 9 Remote Kontrol dan Reciver

Remote control adalah perangkat atau sistem elektronik yang digunakan untuk mengendalikan peralatan dari jarak jauh tanpa kontak fisik langsung. Dalam konteks kendaraan atau kapal prototipe yang dikendalikan secara RC (Radio Control), remote control berfungsi sebagai transmitter (pemancar) yang menghasilkan sinyal wireless berupa kode atau perintah yang mewakili aksi-aksi tertentu (mis. maju, mundur, belok). Sinyal ini kemudian dipancarkan melalui frekuensi radio (RF) ke penerima (receiver) di kapal agar kapal dapat merespons perintah operator secara real-time seperti pada gambar 2.9.

Remote control modern biasanya menggunakan modul frekuensi radio 2,4 GHz atau modul RF lain seperti NRF24L01 yang memungkinkan komunikasi nirkabel yang stabil dan minim interferensi pada jarak tertentu. Perangkat ini mengubah input fisik (tombol/joystick) menjadi sinyal digital yang dikirimkan secara nirkabel ke receiver kapal[6]. Dalam sistem prototipe kapal RC, remote control dapat berupa joystick, pengendali game (PS2 controller), atau perangkat khusus dengan beberapa channel yang memberikan kontrol independen terhadap motor dan kemudi kapal.

Receiver adalah komponen pada perangkat yang menerima sinyal dari remote control (transmitter). Receiver bertugas menangkap sinyal nirkabel yang dipancarkan, kemudian mendekodekan perintah tersebut menjadi perintah elektronik yang dapat diproses oleh sistem kontrol kapal (mis. mikrokontroler, ESC, servo)[16].

Keunggulan RC 2,4 GHz dalam Aplikasi Kapal Prototipe Berdasarkan literatur teknik kendali dan sistem komunikasi

- a. Stabilitas komunikasi lebih tinggi, karena sinyal digital lebih tahan terhadap noise.
- b. Latensi rendah, sehingga respons kendali kapal lebih cepat dan presisi.
- c. Multi-channel capability, memungkinkan pengendalian beberapa fungsi sekaligus (motor, rudder, lampu, sensor).
- d. Keamanan komunikasi lebih baik, karena sinyal dienkripsi atau menggunakan ID unik antara TX dan RX.

Keunggulan ini menjadikan RC 2,4 GHz sangat cocok untuk prototipe kapal PSV yang memerlukan kendali[17].

### 2.5.3 Electronic Speed Controller



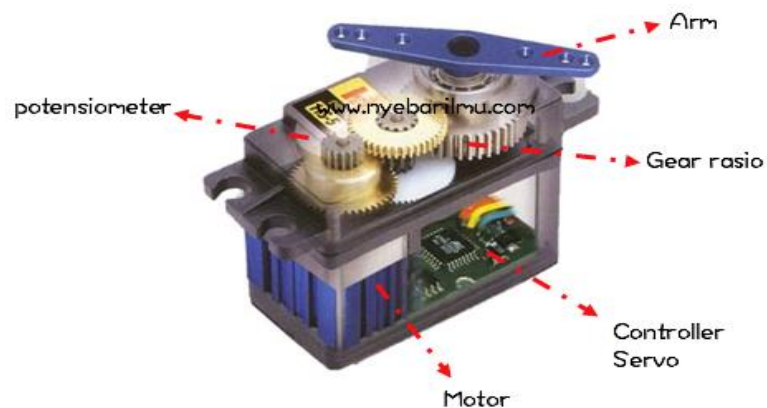
Gambar 2. 10 Electronic Speed Controller

Electronic Speed Controller (ESC) merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengatur kecepatan dan arah putar motor listrik melalui teknik switching elektronik, seperti PWM. ESC menerima sinyal kendali dari mikrokontroler atau receiver RC dan mengubahnya menjadi perintah daya yang

sesuai bagi motor BLDC atau DC. Dalam penelitian prototipe kapal permukaan, ESC digunakan untuk mengatur motor thruster, yang dikendalikan oleh strategi kendali PID untuk menyesuaikan kecepatan sesuai kebutuhan operasi seperti gambar 2.10.

Secara teknis, ESC menggunakan teknik switching berbasis transistor seperti MOSFET untuk memberi tegangan ke motor dalam pola tertentu (mis. PWM) agar motor dapat berputar pada kecepatan yang diinginkan. Perubahan duty cycle, frekuensi, dan rentang sinyal mengontrol besar kecilnya daya yang masuk ke motor, sehingga mampu menyesuaikan putaran. Pada prototipe kapal seperti RC Boat atau model PSV, ESC diintegrasikan dengan mikrokontroler (mis. Arduino) atau receiver radio untuk menerima perintah dari operator dan kemudian mengatur kecepatan serta respons motor penggerak. ESC memastikan motor bekerja sesuai input tanpa memberikan beban berlebih baik pada motor maupun baterai. Sebuah studi sistem kendali prototipe kapal pariwisata menyebutkan penggunaan ESC untuk mengatur motor brushless (BLDC), yang dikendalikan melalui joystick dan mikrokontroler[2].

#### 2.5.4 Servo



Gambar 2. 11 Servo

Servo motor merupakan aktuator elektro-mekanis yang dirancang untuk mengubah sinyal PWM menjadi gerak sudut presisi pada sistem kendali kapal prototipe. Struktur internal servo yang mencakup motor DC, gearbox, dan sistem *feedback* memungkinkan posisi sudut poros dikontrol secara tepat sesuai perintah yang diberikan oleh mikrokontroler atau receiver seperti pada gambar 2.11.

Penggunaan servo umum dijumpai pada sistem kemudi kapal skala kecil, di mana servo berfungsi menggerakkan rudder untuk perubahan arah kapal. Penelitian menunjukkan bahwa servo mampu bekerja secara responsif dengan pengaturan sudut yang akurat, sehingga meningkatkan kemampuan manuver dan stabilitas lintasan kapal dalam navigasi manual maupun otomatis[18].

Cara Kerja Servo Motor dalam Kapal. Servo motor menerima sinyal dari mikrokontroler atau receiver dalam bentuk PWM (Pulse-Width Modulation). Sinyal PWM ini menentukan sudut putar servo—misalnya dengan lebar pulsa 1 ms untuk sudut  $-90^\circ$ , 1.5 ms untuk posisi tengah, dan 2 ms untuk  $+90^\circ$ . Servo kemudian akan menyesuaikan posisi porosnya melalui sistem *feedback* internal hingga mencapai sudut yang diperintahkan.

Peran Servo dalam Sistem Kendali Kapal. Dalam konteks kapal prototipe PSV, servo motor berfungsi sebagai aktuator utama pada sistem kemudi, bekerja secara langsung dalam:

- a. Mengubah sudut *rudder* sesuai perintah kendali arah dari operator atau mikrokontroler,
- b. Menerjemahkan sinyal digital PWM menjadi gerak mekanik sudut,
- c. Bekerja bersama mikrokontroler untuk respon kendali otomatis (misalnya PID atau waypoint navigation).

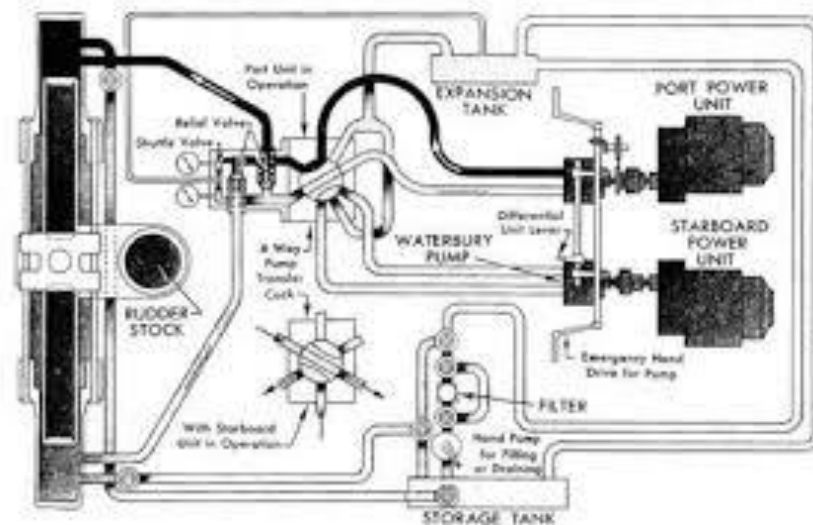
Sebagai aktuator yang mengontrol arah kapal, servo motor sangat menentukan ketepatan manuver, stabilitas kurs kapal, dan respons terhadap sinyal kendali baik manual maupun otomatis. Kelebihan Servo Motor di Aplikasi Kapal

Servo motor menjadi pilihan populer pada prototipe kapal karena memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Kontrol Sudut Presisi: Dengan sistem *feedback* internal, servo mampu mencapai dan mempertahankan sudut yang diinginkan dengan akurasi tinggi oleh sinyal PWM.

- b. Respons Cepat dan Ulang: Servo mampu merespon perubahan sinyal dengan cepat, sehingga diperlukan untuk manuver kapal yang sering atau dinamis.
- c. Integrasi Mudah dengan Mikrokontroler: Sinyal PWM dari Arduino, STM32, atau controller lain mudah dimanfaatkan untuk mengatur posisi servo, sehingga fleksibel untuk pengembangan sistem kendali otomatis

### 2.5.6 Linkage Sistem Kemudi



Gambar 2. 12 Linkage Sistem Kemudi

Gambar 2.12 menggambarkan Linkage sistem kemudi yang berfungsi sebagai penghubung antara aktuator (servo motor atau sistem penggerak kemudi) dan elemen kemudi utama (rudder). Sistem ini mentransmisikan gerakan putar atau linier dari aktuator menjadi perubahan sudut kemudi yang terkontrol, sehingga kapal dapat bermanuver sesuai dengan perintah kendali.

#### Fungsi Utama Linkage Sistem Kemudi

- a. Meneruskan perintah kendali dari sistem elektronik ke sistem mekanik,
- b. Mengubah gerak putar servo menjadi gerak sudut rudder,
- c. Menjamin akurasi, stabilitas, dan konsistensi sudut kemudi,
- d. Mengurangi kehilangan gerak (backlash) dan deformasi mekanis,
- e. Menyediakan keandalan mekanis dalam berbagai kondisi operasi.

Secara umum, pada kapal konvensional, sinyal kendali dari helm atau sistem kendali diteruskan melalui telemotor atau transmisi ke *steering gear*. Linkage kemudian mentransmisikan gerakan tersebut secara mekanis atau hidrolis agar poros kemudi berputar dan merubah sudut daun kemudi. Prinsip fisiknya adalah mengkonversi putaran kecil pada aktuator menjadi sudut belok yang lebih besar pada rudder, dengan memperhatikan torsi dan rasio transmisi[19].

## **2.6 Integrasi Sistem Propulsi dan Sistem Kendali**

### **2.6.1 Hubungan Sistem Propulsi Dan Sistem Kendali**

Hubungan sistem propulsi dan sistem kendali bersifat saling tergantung: sistem kendali menetapkan target kecepatan dan arah, sementara sistem propulsi menyediakan tenaga dan thrust untuk merealisasikannya. Integrasi keduanya, sebagaimana terlihat pada sistem Dynamic Positioning (DP) dan prototipe kapal RC, memastikan respon kapal terhadap perintah pengguna dapat dijalankan dengan akurat dan stabil meskipun terdapat gangguan lingkungan.

Sistem propulsi merupakan rangkaian komponen yang menghasilkan gaya dorong (thrust) untuk menggerakkan kapal melalui air, biasanya terdiri dari motor pembangkit tenaga, poros, dan propeller. Sementara itu, sistem kendali kapal adalah kumpulan elemen dan algoritma yang bertugas mengatur respon kapal terhadap perintah, termasuk pengaturan arah dan kecepatan untuk mencapai perilaku gerak yang diinginkan. Sistem kendali yang efektif diperlukan agar kapal dapat menerjemahkan perintah operator menjadi gerak yang tepat baik dalam arah maupun kecepatan. Kedua sistem ini tidak berdiri sendiri, melainkan saling terintegrasi dalam satu kesatuan fungsi operasional kapal.

Hubungan antara sistem propulsi dan kendali terlihat pada dua aspek yaitu:

#### a) kendali kecepatan (Thruster/Throttle)

Sistem kendali mengatur Electronic Speed Controller (ESC) untuk motor propulsi berdasarkan input target kecepatan. ESC kemudian mengubah sinyal PWM dari controller menjadi perubahan kecepatan motor sehingga kapal memperoleh laju yang diinginkan oleh operator. Tanpa sistem kendali

yang baik, kemampuan kapal untuk menyesuaikan kecepatan terhadap kondisi lingkungan akan terbatas.

b) Kendali Arah (Rudder/Thruster)

Sistem kendali mengirimkan perintah ke aktuator kemudi (mis. servo) untuk mengubah sudut rudder, yang bekerja sama dengan propeller dalam menghasilkan gaya lateral agar kapal berbelok sesuai arah yang diinginkan. Jika kendali kemudi tidak tepat waktu atau akurat, perubahan thrust propeller akan menghasilkan manuver yang tidak stabil.

Dynamic positioning (DP) Integrasi propulsi dan kendali paling jelas terlihat pada sistem Dynamic Positioning (DP) yang digunakan di kapal offshore seperti PSV. DP adalah teknik kendali otomatis yang memanfaatkan thrust dari propeller dan *thruster* samping untuk mempertahankan posisi dan heading kapal tanpa bantuan jangkar. Pada DP, sistem kendali membaca data sensor (GPS, kompas, anemometer) dan secara real time mengatur output thrust pada motor propulsi dan thruster melalui algoritma kendali seperti *PID* atau *model predictive control*. Dengan demikian, posisi kapal dipertahankan meskipun gangguan lingkungan seperti angin atau arus laut terjadi.

Sinergi antara system kendali dan manuver kecepatan dan arah gerak kapal tidak boleh dipisahkan keduanya harus dikendalikan secara sinkron agar kapal bergerak stabil dan aman. Misalnya, saat kapal akan berbelok tajam, sistem kendali harus menurunkan kecepatan propeller secara proporsional sebelum mengubah sudut kemudi sehingga efek gaya lateral lebih prediktif. Tanpa integrasi ini, kapal bisa kehilangan stabilitas dan menghasilkan overshoot pada perubahan arah.

Pada prototipe kapal berbasis RC Boat, hubungan sistem propulsi dan kendali sering direalisasikan sebagai berikut:

1. Remote control atau microcontroller menentukan input dan arah kecepatan
2. Receiver meneruskan sinyal ke microcontroller
3. Lalu microcontroller memproses sinyal tersebut
4. Motor propulsi akan merespon kecepatan sesuai PWM, Sedangkan servo akan memosisikan rudder untuk arah yang diinginkan

Model ini merepresentasikan hubungan antara sistem propulsi dan kendali yang sama seperti pada kapal yang sesungguhnya. Adapun tantangan dalam integrasi sistem propulsi dan kendali yaitu

a. Delay dan respon system

Respon sistem kendali terhadap kondisi lingkungan (gelombang, arus) harus cepat agar thrust yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan posisi atau arah kapal. Jika sistem propulsi lambat bereaksi terhadap perintah kendali, maka manuver kapal akan kurang presisi.

b. Ketidaklinearitas sistem

Hubungan antara input kendali mis PWM) dan respon gerak kapal tidak selalu linear, sehingga membutuhkan algoritma kendali canggih untuk mengatasi dinamika dinamis kapal.

### 2.6.2 Parameter Kinerja Kapal

Parameter kinerja kapal adalah sekumpulan ukuran atau indikator kuantitatif yang digunakan untuk menilai tingkat keberhasilan kapal dalam menjalankan fungsi operasionalnya secara efektif, efisien, dan aman. Parameter ini mencerminkan performa sistem utama kapal, seperti sistem propulsi, sistem kendali, struktur kapal, serta sistem pendukung lainnya, dalam merespons berbagai kondisi operasi.

Parameter kinerja kapal digunakan untuk mengevaluasi kemampuan kapal dalam hal kecepatan, daya dorong, stabilitas, kemampuan manuver, efisiensi energi, serta keandalan sistem. Melalui analisis parameter kinerja, peneliti atau perancang kapal dapat menentukan apakah desain dan sistem yang digunakan telah memenuhi standar operasional serta tujuan perancangan. Dalam konteks prototipe kapal atau RC Boat, parameter kinerja kapal berfungsi sebagai alat evaluasi utama untuk mengukur keberhasilan integrasi sistem propulsi dan sistem kendali, serta untuk menilai kesesuaian karakteristik kapal terhadap model kapal sebenarnya, seperti kapal Platform Supply Vessel (PSV).

1. Kecepatan kapal (Ship Speed)

Kecepatan kapal merupakan parameter utama yang menunjukkan kemampuan kapal bergerak maju dalam satuan jarak per waktu, umumnya

dinyatakan dalam meter per detik (m/s) atau knot. Kecepatan kapal dipengaruhi oleh daya motor, efisiensi sistem propulsi, bentuk lambung, dan kondisi perairan. Pada prototipe kapal, pengukuran kecepatan digunakan untuk mengetahui respon sistem propulsi terhadap variasi input kendali.

2. Daya Dorong (Trust)

Thrust adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller untuk menggerakkan kapal. Besarnya thrust menentukan kemampuan kapal untuk bergerak, bermanuver, dan melawan gaya eksternal seperti arus dan angin. Dalam prototipe, thrust dapat dianalisis secara tidak langsung melalui kecepatan dan akselerasi kapal

3. Kemampuan Manuver (Maneuverability)

Kemampuan manuver adalah kemampuan kapal untuk berubah arah dan lintasan secara terkendali. Parameter manuver meliputi sudut belok, jari-jari belok (turning radius), dan waktu belok. Kapal dengan kemampuan manuver yang baik dapat melakukan belokan dengan stabil tanpa kehilangan kendali

4. Stabilitas Gerak Kapal

Stabilitas gerak menunjukkan kemampuan kapal mempertahankan keseimbangan dan arah gerak saat menerima gangguan eksternal. Stabilitas ini berkaitan dengan respon kapal terhadap perubahan arah, kecepatan, dan gangguan lingkungan. Pada prototipe, stabilitas dapat diamati dari konsistensi lintasan dan minimnya osilasi saat bermanuver.

5. Efisiensi Sistem propulsi

Efisiensi sistem propulsi menggambarkan seberapa efektif energi yang diberikan motor diubah menjadi gaya dorong. Parameter ini berkaitan dengan konsumsi daya, kecepatan yang dihasilkan, dan desain propeller. Efisiensi yang baik menunjukkan sistem propulsi bekerja optimal dengan energi minimum.

6. Konsumsi Energi

Konsumsi energi menunjukkan besarnya energi listrik yang digunakan selama kapal beroperasi. Pada prototipe kapal, konsumsi energi dapat diukur dari durasi operasi baterai terhadap beban kerja sistem. Parameter ini

penting untuk mengevaluasi keberlanjutan dan efisiensi operasional sistem kelistrikan kapal.

7. Akurasi Arah dan Lintasan

Akurasi arah menunjukkan kemampuan kapal mempertahankan heading yang diinginkan, sedangkan akurasi lintasan menunjukkan kemampuan kapal mengikuti jalur tertentu. Parameter ini digunakan untuk menilai kinerja sistem kendali arah dan kemudi.

8. Keandalan Sistem (Reabiliti)

Keandalan sistem menunjukkan kemampuan kapal untuk beroperasi secara konsisten tanpa kegagalan komponen. Parameter ini mencakup kestabilan kerja motor, ESC, servo, dan sistem kelistrikan selama pengujian berlangsung.

9. Keseluruhan Kinerja Operasional

Keseluruhan kinerja operasional merupakan evaluasi menyeluruh dari semua parameter di atas untuk menilai apakah kapal prototipe memenuhi tujuan penelitian. Parameter ini menjadi dasar penarikan kesimpulan dan rekomendasi pengembangan sistem ke depan.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan deskriptif-kuantitatif. Metode eksperimental dipilih karena penelitian ini melibatkan perancangan, serta pengujian langsung terhadap prototipe kapal RC Boat jenis kapal platform Supply Vessel (PSV) untuk mengetahui kinerja sistem propulsi dan kendali yang diterapkan. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan secara sistematis cara kerja sistem propulsi dan sistem kendali, mulai dari proses input sinyal kendali, pengolahan sinyal oleh sistem, hingga output berupa gerak dan manuver kapal. Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur dan menganalisis parameter-parameter kinerja seperti kecepatan kapal, konsumsi daya, waktu respon kendali, serta stabilitas arah kapal.

Melalui metode eksperimen dan pendekatan deskriptif-kuantitatif, penelitian ini mampu memberikan gambaran yang objektif, terukur, dan sistematis mengenai performansi sistem kerja propulsi dan kendali pada prototipe kapal RC Boat Platform Supply Vessel (PSV).

### **3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian**

#### **3.2.1 Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu yang telah disesuaikan dengan jadwal akademik dan ketersediaan fasilitas penelitian. Kegiatan penelitian meliputi tahap perancangan sistem, perakitan prototipe, pengujian sistem propulsi dan kendali, pengumpulan data, hingga analisis hasil penelitian.

Penelitian dilakukan di lokasi *Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara* sebagai tempat perancangan dan perakitan sistem propulsi dan kendali pada prototipe kapal RC Boat.

Pemilihan tempat penelitian ini bertujuan untuk proses penelitian dapat berjalan secara sistematis, terkontrol, dan menghasilkan data yang akurat sesuai dengan tujuan penelitian.

### 3.2.2 Waktu

Waktu yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dimulai dari November 2025 sampai Juni 2026.

**Tabel 3. 1 Waktu**

No.	Keterangan	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Kajian Literatur	■							
2.	Penyusunan Proposal Penelitian		■						
3.	Penulisan BAB I sampai BAB III			■					
4.	Seminar Proposal				■				
5.	Analisa Data					■	■		
6.	Seminar Hasil							■	
7.	Sidang Akhir							■	

### 3.3 Objek Dan Subjek Peneliitian

Objek penelitian adalah prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV) skala kecil. Khususnya dalam aspek:

1. Kecepatan dan kemampuan gerak kapal,
2. Respon sistem kendali terhadap perubahan arah dan kecepatan,
3. Efisiensi sistem propulsi berdasarkan konsumsi daya, serta
4. Stabilitas kapal selama pengoperasian.

Subjek penelitian meliputi sistem propulsi dan sistem kendali yang digunakan pada prototipe kapal, termasuk motor penggerak, propeller, poros, sumber kelistrikan, Electronic Speed Controller (ESC), servo, remote control, dan receiver. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada hubungan antara sistem propulsi dan kendali terhadap performa operasional prototipe kapal RC Boat tipe PSV.

### 3.4 Variabel penelitian

#### 3.4.1 Variabel Bebas

- a. Kecepatan putar motor merupakan salah satu parameter utama dalam sistem propulsi kapal, termasuk pada prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV). RPM menunjukkan jumlah putaran poros motor atau propeller dalam satu menit, yang secara langsung memengaruhi besarnya gaya dorong (thrust) yang dihasilkan untuk menggerakkan kapal. Pada kapal PSV, baik skala nyata maupun prototipe, kecepatan putar motor harus disesuaikan dengan karakteristik kapal yang membutuhkan Daya dorong tinggi pada kecepatan rendah, karena PSV sering melakukan manuver presisi saat mendekati anjungan lepas pantai. dan Stabilitas gerak, agar kapal dapat beroperasi dengan aman saat membawa muatan atau beroperasi di perairan terbuka.
- b. Sudut kemudi (rudder angle) merupakan parameter penting dalam sistem kendali kapal karena menentukan arah belokan dan kemampuan manuver kapal. Pada prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV), sudut kemudi diatur oleh servo motor yang menerima sinyal dari receiver sesuai perintah dari transmitter. Servo bekerja dengan mengubah sinyal listrik menjadi gerakan rotasi terbatas, biasanya dalam rentang sudut tertentu, seperti  $\pm 30^\circ$  hingga  $\pm 45^\circ$  dari posisi tengah. Perubahan sudut ini menyebabkan aliran air yang melewati kemudi berubah arah, sehingga menghasilkan gaya lateral yang membelokkan kapal ke kiri atau ke kanan.
- c. Daya listrik yang diberikan ke sistem Propulsi Daya listrik merupakan sumber energi utama yang digunakan untuk menggerakkan sistem propulsi pada prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV). Daya ini disuplai oleh baterai dan dialirkan melalui Electronic Speed Controller (ESC) menuju motor listrik yang kemudian mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran propeller.

daya listrik (P) dihitung menggunakan persamaan 3.1 :

$$P = V_x I \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana:

$$P = \text{daya listrik (Watt)}$$

$V = \text{tegangan (Volt)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

Besarnya daya yang diberikan ke sistem propulsi akan memengaruhi:

1. Kecepatan putar motor RPM
2. Gaya dorong atau (trust)
3. Kecepatan dan ekselarasi kapal
4. Efisiensi dan konsumsi energi

### 3.4.2 Variabel Terikat

- a. Kecepatan kapal merupakan parameter utama dalam menilai kinerja sistem propulsi dan kendali pada prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV). Kecepatan menunjukkan seberapa cepat kapal dapat bergerak dari satu titik ke titik lainnya dalam satuan waktu tertentu dan biasanya dinyatakan dalam meter per detik (m/s) atau knot. Dalam penelitian prototipe kapal PSV, kecepatan kapal biasanya diukur dengan mencatat waktu tempuh kapal pada jarak tertentu, kemudian dihitung menggunakan persamaan:

$$V = S/T \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana:

V = Kecepatan Kapal

S = Jarak tempuh

T = Waktu tempu

Kecepatan kapal pada prototipe PSV tidak hanya bertujuan untuk mencapai nilai maksimum, tetapi juga untuk memastikan kapal dapat beroperasi secara stabil, efisien, dan sesuai karakteristik operasional PSV yang membutuhkan kemampuan manuver tinggi serta kontrol yang baik pada kecepatan rendah hingga sedang.

- b. Respon Kendali merupakan kemampuan sistem kendali kapal dalam merespon perintah dari operator secara cepat, tepat, dan stabil. padaa prototipe kapal RC Boat jenis kapal Platform Supply Vessel (PSV), respon kendali menuunjukkan seberapa cepat kapal bereaksi terhadap perubahan

perintah arah (kemudi) dan kecepatan (throttle) yang diberikan melalui transmitter.

- c. Kemampuan Manuver adalah kemampuan kapal untuk mengubah arah, berbelok, dan bermanuver dengan cepat, tepat, dan stabil sesuai perintah kendali. Pada prototipe kapal PSV, kemampuan manuver sangat penting untuk melakukan operasi presisi, seperti mendekati target, menjaga posisi, dan beroperasi di area terbatas, sehingga kapal tetap aman, terkendali, dan efisien selama pengujian maupun pengoperasian.
- d. Stabilitas gerak kapal adalah kemampuan kapal untuk mempertahankan keseimbangan, arah, dan posisi selama bergerak di air tanpa mudah oleng, menyimpang, atau kehilangan kendali. Pada prototipe kapal PSV, stabilitas gerak sangat penting agar kapal dapat beroperasi secara aman, nyaman, dan akurat sesuai perintah kendali

### 3.4.3 Variabel Control

- a. Kondisi perairan yang tenang Kondisi perairan tenang minim gelombang, arus, dan gangguan angin, sehingga permukaan air relatif datar dan stabil. Kondisi ini ideal untuk pengujian prototipe kapal PSV karena memungkinkan pengukuran kinerja propulsi, kecepatan, dan kendali dilakukan secara akurat tanpa pengaruh faktor eksternal yang dapat mengganggu hasil pengujian.
- b. Beban kapal adalah total berat yang harus ditanggung dan digerakkan oleh sistem propulsi, yang meliputi berat struktur kapal, komponen elektronik, baterai, serta muatan tambahan. Pada prototipe kapal PSV, beban kapal memengaruhi kecepatan, akselerasi, stabilitas, dan efisiensi penggunaan daya. Semakin besar beban, semakin besar daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal dan semakin berpengaruh terhadap kinerja sistem propulsi dan kendali.
- c. Tegangan Sumber Daya Listrik adalah besarnya beda potensial listrik yang disuplai oleh baterai ke sistem propulsi dan kendali. Tegangan ini menentukan kemampuan motor dan komponen elektronik untuk bekerja secara optimal, serta memengaruhi kecepatan putar motor, daya yang dihasilkan, dan kestabilan kinerja sistem kapal.

- d. Dimensi dan Bentuk Lambung kapal adalah ukuran fisik kapal (panjang, lebar, tinggi, dan draft) serta desain bentuk badan kapal yang memengaruhi karakteristik hidrodinamika. Pada prototipe kapal PSV, dimensi dan bentuk lambung menentukan hambatan air, stabilitas, kecepatan, serta kemampuan manuver, sehingga sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem propulsi dan kendali.

### **3.5 Alat dan Bahan**

#### **3.5.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam pembuatan prototipe kapal Platform Supply Vessel (PSV) meliputi alat pertukangan, alat pengukuran, alat elektronika, alat perakitan, alat finishing, serta alat uji antara lain:

Alat pertukangan dan pemotongan

- a. Gergaji tangan/listrik. Memotong kayu, PVC, atau plastik sesuai desain.
- b. cutter. Memotong bahan tipis seperti styrofoam, plastik, atau kertas pola.
- c. Bor listrik. Memotong bahan tipis seperti styrofoam, plastik, atau kertas pola.
- d. Obeng set. Mengencangkan dan melepas baut/sekrup.
- e. Tang kombinasi. Memegang, memotong, dan membengkokkan kawat atau kabel.
- f. Kikir. Menghaluskan dan membentuk tepi material.

Alat pengukuran dan penandaan:

- a. Meteran/mistar. Mengukur panjang, lebar, dan tinggi komponen kapal.
- b. Jangka sorong. Mengukur diameter poros, ketebalan material, dan komponen presisi.
- c. Penggaris sudut. Mengukur sudut kemiringan dan sudut kemudi.
- d. Pensil/spidol. Memberi tanda potong dan posisi pemasangan
- e. Waterpass kecil. Memastikan posisi komponen sejajar dan seimbang.

Alat elektronika meliputi:

- a. Soder listrik. Menyolder kabel dan komponen elektronik.
- b. Timah solder. Bahan penyambung konduktor listrik.

- c. Multimeter digital. Mengukur tegangan, arus, dan resistansi.
- d. Heat gun/lighter. Menyusutkan heat shrink tubing.

Alat perakitan dan perekat meliputi:

- a. Lem tembak. Merekatkan komponen ringan dengan cepat.
- b. Kuas. Mengoleskan resin, lem, atau cat.
- c. Clamp/penjepit. Menahan komponen saat lem atau resin mengering.
- d. Spatula kecil. Meratakan resin atau dempul.

Alat finishing dan Pengecatan meliputi:

- a. Amplas. Menghaluskan permukaan sebelum pengecatan.
- b. Cat semprot. Mengecat permukaan lambung dan superstruktur.

Alat uji dan pengujian meliputi:

- a. Stopwatch. Mengukur waktu tempuh kapal saat pengujian.
- b. Timbangan digital. Mengukur berat kapal dan beban muatan.
- c. Kamera/smartphone. Mendokumentasikan proses dan pengujian kapal.
- d. Kolam uji. Media pengujian kapal sebelum diuji di perairan terbuka

### 3.5.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan prototipe kapal Platform Supply Vessel (PSV) meliputi material struktur lambung, sistem propulsi, sistem kemudi, sistem kendali, dan sistem kelistrikan antara lain:

Bahan Struktur Lambung (Hull) yang digunakan untuk membentuk badan kapal

- a. kayu lapis (plywood) Membentuk struktur utama lambung kapal dan rangka badan kapal.
- b. Fiberglass + resin Memberikan kekuatan, kedap air, dan permukaan lambung yang halus.
- c. Styrofoam Digunakan sebagai inti lambung untuk mengurangi berat kapal.
- d. Pvc Sheet Alternatif bahan lambung yang tahan air dan mudah dibentuk.
- e. ABS Plastik Digunakan untuk bagian lambung yang dicetak atau komponen struktural kecil.

Bahan Geladak dan Struktur Atas (Superstructure) Digunakan untuk bangunan atas kapal:

- a. Akrilik membentuk bangunan atas kapal dan jendela superstruktur.
- b. Triplek Tipis Membentuk geladak dan struktur atas yang ringan.
- c. Filamen PLA/ABS Digunakan untuk mencetak komponen khusus dengan printer 3D.

Bahan sistem Propulsi Digunakan untuk menggerakkan kapal:

- a. Motor DC/BLDC Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kapal.
- b. Poros (Shaft) Menyalurkan putaran motor ke propeler.
- c. Kopling Poros Menghubungkan motor dengan poros secara fleksibel dan presisi.
- d. Propeler Menghasilkan gaya dorong untuk menggerakkan kapal maju.

Bahan sistem kemudi Digunakan untuk mengatur arah:

- a. Rudder(kemudi) Mengubah arah aliran air sehingga kapal dapat berbelok.
- b. Servo Motor Menggerakkan rudder sesuai perintah kendali.
- c. Linkade Kemudi Menghubungkan servo dengan rudder.
- d. Dudukan kemudi Menopang sistem kemudi agar stabil dan presisi.

Bahan Sistem Kendali dan Elektronika Digunakan untuk pengendalian:

- a. Remote Kontrol Mengirim perintah kendali ke kapal.
- b. Receiver Menerima sinyal dari remote dan meneruskannya ke sistem kendali.
- c. Electronic Speed Controller (ESC) Mengatur kecepatan dan arah putaran motor.
- d. Kabel dan konektor Menghubungkan semua komponen elektronika.
- e. PCB / breadboard Media pemasangan dan perakitan rangkaian elektronik.

Bahan system kelistrikan Digunakan sebagai sumber daya:

- a. Baterai (Li-ion / LiPo / NiMH) Sumber energi listrik utama kapal.
- b. Battery holder Baterai yang digunakan untuk remote control

- c. Regulator tegangan (BEC/DC) menstabilkan tegangan untuk komponen elektronik.
- d. Saklar utama menghubungkan dan memutuskan aliran listrik
- e. Sekring (Fuse) Melindungi rangkaian dari arus berlebih atau korsleting

Bahan pelindung dan kedap air

- a. Lem epoxy Merekatkan komponen dan meningkatkan kekuatan struktur.
- b. Lem silikon/Sealant Menutup celah agar air tidak masuk ke dalam kapal.
- c. Casing tahan air Melindungi komponen elektronik dari air dan kelembapan.
- d. Heat shring tubink Melindungi sambungan kabel dari air dan kerusakan mekanis.

Bahan finishing digunakan untuk perlindungan dan tampilan

- a. Cat tahan air. Melindungi permukaan kapal dan meningkatkan tampilan visual.
- b. Clear coat. Memberikan lapisan pelindung tambahan dan kilap permukaan.
- c. Sticer/decals Memberikan identitas dan estetika kapal.
- d. Apas Menghaluskan permukaan sebelum pengecatan.

### **3.6 Prosedur Penelitian**

- a. Tahap Perancangan

Pada tahap ini dilakukan perancangan bentuk lambung kapal, sistem propulsi, sistem kendali, serta tata letak komponen listrik. Perancangan dilakukan berdasarkan karakteristik operasional kapal Platform Supply Vessel (PSV).

- b. Tahap perakitan

Tahap ini meliputi proses perakitan seluruh komponen kapal sesuai desain, termasuk pemasangan motor, propeller, poros, sistem kemudi, ESC, baterai, dan sistem kendali.

c. Tahap Pengujian

Pengujian dilakukan di perairan tenang untuk mengukur parameter kinerja kapal, seperti kecepatan, respons kendali, kemampuan manuver, dan stabilitas gerak.

d. Tahap analisis data

Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem propulsi dan sistem kendali kapal.

### 3.7 Teknik Analisi Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV) berdasarkan hasil pengujian eksperimental. Data yang diperoleh dianalisis secara sistematis melalui tahapan perhitungan, pengelompokan, penyajian, dan interpretasi hasil untuk menarik kesimpulan yang objektif dan ilmiah. Data di analisis menggunakan:

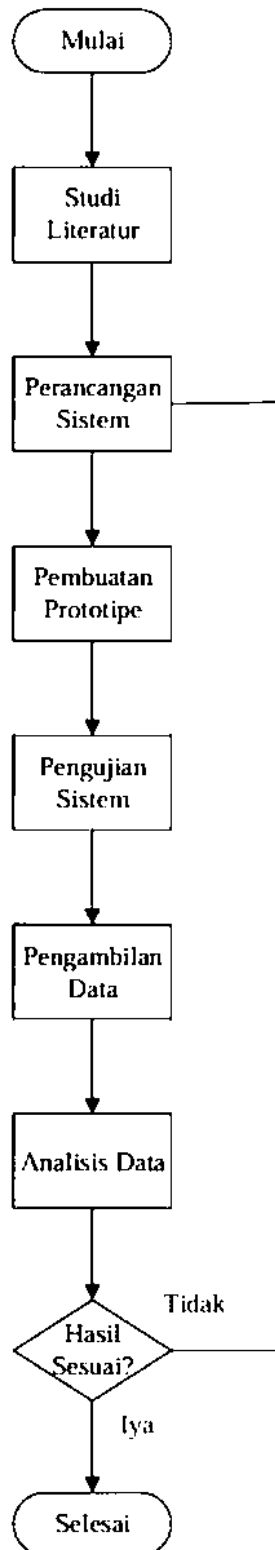
- a. Perhitungan kecepatan kapal ( $v = s/t$ )
- b. Analisis hubungan antara input kendali dan respon kapal
- c. Evaluasi kemampuan manuver berdasarkan lintasan kapal
- d. Analisis stabilitas berdasarkan konsistensi gerak kapal

### 3.8 Teknik pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk memperoleh data yang akurat, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Data dikumpulkan melalui serangkaian pengujian langsung terhadap prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV), dengan memperhatikan kondisi lingkungan, kestabilan sistem, serta konsistensi prosedur pengukuran. Data dikumpulkan melalui:

- a. Observasi langsung selama pengujian kapal
- b. Pengukuran waktu tempuh kapal pada jarak tertentu
- c. Pengukuran respon kemudi dan perubahan arah
- d. Pencatatan konsumsi daya listrik

### 3.8 Flowchart



Gambar 3. 1 Flowchart

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Hasil pengujian Prototipe Kapal RC Boat PSV**

Dari sisi sistem kendali, hasil pengujian menunjukkan bahwa kapal dapat dikendalikan dengan baik melalui remote control. Setiap perintah yang diberikan oleh operator dapat diterima dan direspon oleh sistem secara real-time tanpa adanya keterlambatan yang berarti. Pergerakan rudder yang dikendalikan oleh servo mampu mengikuti input dengan akurat, sehingga kapal dapat berbelok sesuai dengan arah yang diinginkan. pengaturan kecepatan melalui Electronic Speed Controller (ESC) juga berjalan dengan baik. Kemampuan manuver kapal juga menunjukkan hasil yang memuaskan. Kapal mampu melakukan berbagai jenis manuver seperti berbelok ke kiri dan ke kanan, serta melakukan putar balik dengan cukup baik. Respon terhadap perubahan arah tergolong cepat dan akurat, sehingga kapal dapat mengikuti lintasan yang diinginkan oleh operator. Selama proses manuver, kapal tetap dalam kondisi stabil dan tidak mengalami oleng yang berlebihan, yang menunjukkan bahwa sistem kendali dan sistem propulsi bekerja secara sinkron.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe kapal RC Boat PSV mampu bekerja dengan baik sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Seluruh sistem yang ada, baik propulsi maupun kendali, dapat berfungsi secara optimal dan saling mendukung dalam menghasilkan performa kapal yang baik. Kapal tidak hanya mampu bergerak dengan kecepatan yang sesuai, tetapi juga dapat dikendalikan dengan presisi serta memiliki stabilitas yang memadai. Dengan demikian, prototipe kapal yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian

#### **4.1.1 Spesifikasi Teknis Prototipe dan Mesin Spesifikasi Prototipe Kapal**

jenis kapal : prototipe RC Boat PSV

Sistem propulsi menggunakan motor bakar 2 tak

Sistem kendali menggunakan Remote control ( Transmitter dan Reciper )

Sistem kemudi menggunakan Servo dan Rudder.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Teknis Engine

Spesifikasi Teknis engine	
Volume	29,5cc
Inition	CDI-Type Magnetic
Power	3.5 HP 13.000 RPM
Torque	1.23 ft-lbs (1,68 N.m) 10 RPM
Compresion	8,9:1
Starter	EZ starter

### Desain Teknis Spesifikasi Power

*Engine* ini memiliki volume langkah yakni 29,5cc dan termasuk jenis motor 2 langkah, dimana pada motor 2 langkah hanya membutuhkan 2 langkah piston atau satu putaran poros engkol untuk menghasilkan tenaga. Pada motor type ini tidak terdapat valve atau katup seperti pada motor 4 langkah

Desain motor 2 langkah lebih sederhana dibandingkan dengan motor 4 langkah karena tidak memiliki meknisme katup yang spesifik seperti pada motor 4 langkah. Komponen-komponen pada motor 2 langkah diantaranya sebagai berikut:

1. *Block cylinder*
2. *Cylinder Head*
3. Piston
4. Batang piston
5. *Intake Port*
6. *Transper Port*
7. *Exhaust port*
8. *Spark plug*
9. Poros engkol
10. *Carburator*

perhitungan motor bakar dapat menggunakan rumus di atas seperti berikut ini:

a. mencari volume Langkah

Diketahui:  $D = 36 \text{ mm (3,6 cm)}$

$L = 29 \text{ mm (2,9 cm)}$

Ditanya VL...?

$$VL = (\pi.D^2.L) / 4 \dots\dots\dots(4.1)$$

$$= (3,14 \times 3,6^2 \times 2,9) / 4 = 29,5 \text{ cc}$$

b. Mencari Gaya yang bekerja di atas Torak

Diketahui:  $D = 36 \text{ mm}$  ( $3,6 \text{ cm}$ )

$$P_m = 0,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = (\pi.D^2.p_m) / 4 \dots\dots\dots(4.2)$$

$$= (3,14 \times 3,6^2 \times 0,63 / 4) = 6,4 \text{ kg}$$

c. usaha

Diketahui:  $L = 29 \text{ mm}$  ( $2,9 \text{ cm}$ )

$$F = 6,4 \text{ kg}$$

$$W = F.L \dots\dots\dots(4.3)$$

$$= 6,4 \times 2,9 = 18,56 \text{ kg.cm}$$

d. daya untuk tiap cylinder

Diketahui:  $W = 18,56 \text{ kg.cm}$

$$n = 10000 \text{ rpm}$$

$$N = W . n \dots\dots\dots(4.4)$$

$$= 18,56 \times 10000 = 185600 \text{ kg.cm/ menit}$$

e. daya indicator

Diketahui:  $P_m = 0,63 \text{ kg/cm}^2$

$$L = 29 \text{ mm}$$
 ( $2,9 \text{ cm}$ )

$$n = 185600 \text{ kg.cm/menit}$$

$$z = 1 \text{ cylinder}$$

$$N_i = (\pi/4 . D^2 . P_m . L . n . z) / 450.000 \dots\dots\dots(4.5)$$

$$= ((3,14 / 4) . 3,6^2 . 0,63 . 2,9 . 185600 . 1) / 450.000 = 7,61 \text{ dk}$$

f. daya efektif

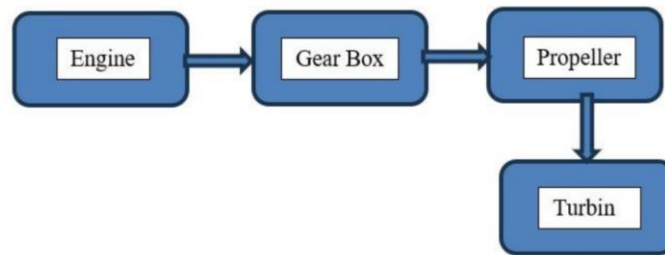
Diketahui:  $N_i = 7,61 \text{ dk}$

$$\eta_m = 0,5$$

$$N_e = N_i . \eta_m \dots\dots\dots(4.6)$$

$$= 7,61 . 0,5 = 3,8 \text{ dk}$$

Dalam pengendalian arah kapal menggunakan *servo* dan baterai *lippo* 12 volt sebagai sumber tenaga. jadi kapal akan menggunakan sumber dua tenaga yaitu mesin Zenoah dan baterai sebagai sumber tenaga Gerak dan pengendalian.sistem pengendalian arah *servo* menggunakan sistem jarak jauh yaitu menggunakan remote control, seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Alur sistem tenaga pada kapal

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Kecepatan Kapal



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Kecepatan kapal

Gambar 4.1 merupakan Hasil dari pengujian kecepatan kapal.Pengujian kecepatan dilakukan dengan metode pengukuran waktu tempuh pada jarak yang telah ditentukan

Rumus yang digunakan

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(4.7)$$

v = Kecepatan kapal (m/s)

S = jarak tempuh (m)

t = waktu tempuh (s)

Perhitungann:

$$\text{Throtle 25\% } v = \frac{50}{18} = 2,77 \text{ m/s}$$

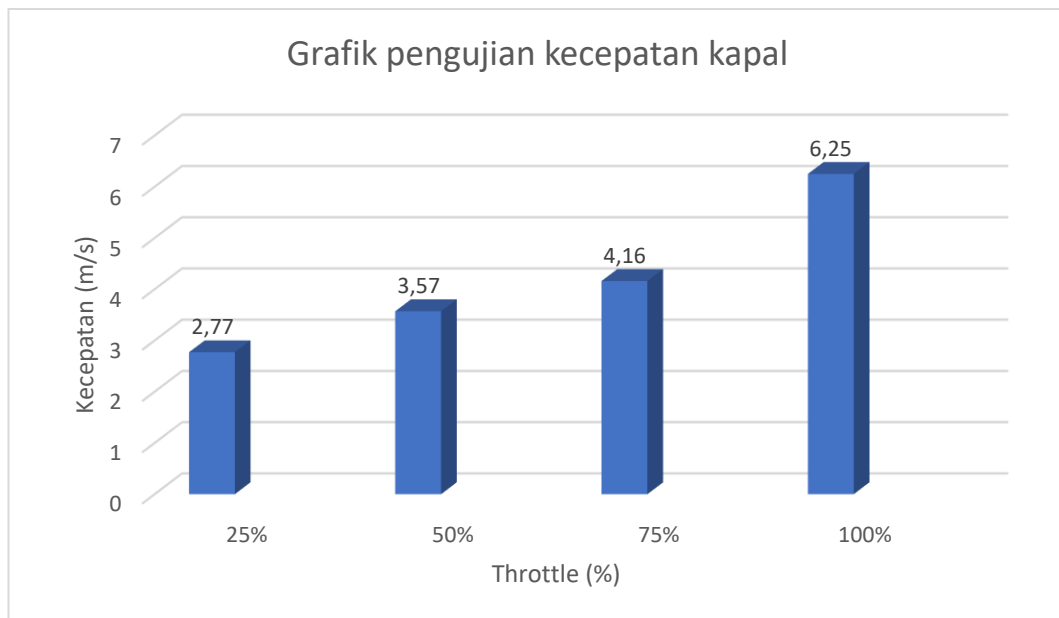
$$\text{Throtle 50\% } v = \frac{50}{14} = 3,57 \text{ m/s}$$

$$\text{Throtle 75\% } v = \frac{50}{12} = 4,16 \text{ m/s}$$

$$\text{Throtle 100\% } v = \frac{50}{8} = 6,25 \text{ m/s}$$

Tabel 4. 2 Pengujian Kecepatan Kapal

No.	Throttle (%)	Jarak (m)	Waktu (s)	Kecepatan (s)
1	25%	50	18	2,77
2	50%	50	14	3,57
3	75%	50	12	4,16
4	100%	50	8	6,25



Gambar 4. 3 Grafik pengujian kecepatan kapal

Berdasarkan table 4.2 dan gambar 4.3 dari hasil perhitungan, diperoleh beberapa hasil berikut:

#### 1. Hubungan Throttle terhadap kecepatan

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2 dan grafik kecepatan kapal, dapat dilihat bahwa terdapat hubungan yang berbanding lurus antara persentase throttle dengan kecepatan kapal. Pada kondisi throttle 25%, kapal menghasilkan kecepatan sebesar 2,77 m/s, kemudian meningkat menjadi 3,57 m/s pada throttle

50%, 4,16 m/s pada throttle 75%, dan mencapai kecepatan maksimum sebesar 6,25 m/s pada throttle 100%.

Peningkatan kecepatan ini terjadi karena semakin besar bukaan throttle, maka suplai bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang bakar juga semakin besar. Hal ini menyebabkan proses pembakaran menjadi lebih kuat sehingga menghasilkan energi mekanik yang lebih besar. Energi tersebut kemudian diubah menjadi putaran (RPM) yang lebih tinggi pada mesin, sehingga putaran propeller meningkat dan menghasilkan gaya dorong (thrust) yang lebih besar.

Namun, peningkatan kecepatan tidak sepenuhnya linear, terutama pada throttle tinggi. Hal ini disebabkan oleh adanya hambatan air (drag), turbulensi, serta keterbatasan efisiensi propeller. Pada throttle 100%, peningkatan kecepatan menjadi lebih signifikan karena mesin telah mencapai kondisi kerja optimal dan mampu menghasilkan daya maksimum.

## 2. Pengaruh mesin Zenoah 30cc

Mesin Zenoah 30cc mampu menghasilkan kecepatan yang signifikan pada prototipe kapal RC Boat PSV karena memiliki kombinasi karakteristik mekanis dan termodinamika yang unggul, terutama pada aspek daya, torsi, efisiensi pembakaran, dan kemampuan bekerja pada putaran tinggi.

Secara prinsip, performa mesin ditentukan oleh hubungan antara daya, torsi, dan putaran mesin. Mesin Zenoah dirancang untuk menghasilkan torsi yang cukup besar pada rentang RPM tinggi, sehingga mampu memberikan energi mekanik yang besar untuk memutar propeller. Torsi yang besar sangat penting dalam sistem propulsi kapal karena berhubungan langsung dengan kemampuan propeller dalam mendorong massa air untuk menghasilkan gaya dorong (thrust). Semakin besar torsi yang dihasilkan, maka semakin besar pula gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller.

Selain itu, mesin Zenoah menggunakan sistem mesin 2 tak yang memiliki siklus pembakaran setiap satu putaran crankshaft. Hal ini menyebabkan frekuensi pembakaran menjadi lebih tinggi dibandingkan mesin 4 tak, sehingga energi yang dihasilkan per satuan waktu menjadi lebih besar. Dengan frekuensi pembakaran

yang tinggi, mesin mampu menghasilkan akselerasi yang lebih cepat dan respons yang lebih baik terhadap perubahan throttle.

Keunggulan lainnya terletak pada sistem karburator yang responsif dan presisi. Karburator pada mesin Zenoah mampu mengatur perbandingan udara dan bahan bakar secara optimal pada berbagai kondisi throttle, sehingga mesin dapat menghasilkan tenaga maksimum tanpa mengalami kekurangan atau kelebihan bahan bakar. Hal ini berkontribusi langsung terhadap kestabilan RPM dan peningkatan performa mesin.

Kelebihan Zenoah 30cc dibanding dengan mesin 30cc sekelas (non-Zenoah atau generik), Zenoah memiliki beberapa keunggulan:

a. Performa Lebih Tinggi

Mesin zenoah memiliki RPM lebih stabil pada beban tinggi, Akselerasi lebih cepat, dan output daya lebih konsisten.

b. Torsi Lebih Besar

Mesin zenoah lebih kuat memutar propeler dan cocok untuk RC boat berkecepatan tinggi

c. Durabilitas lebih baik

Mesin zenoah lebih tahan panas dan tahan lama

d. Respons Throttle Lebih Cepat

Pada mesin perubahan kecepatan lebih responsif dan Cocok untuk manuver cepat

e. Reputasi dan Presisi Pabrikan

Zenoah merupakan brand yang sudah terbukti di dunia RC dan Kualitas manufaktur lebih presisi dibanding mesin biasa

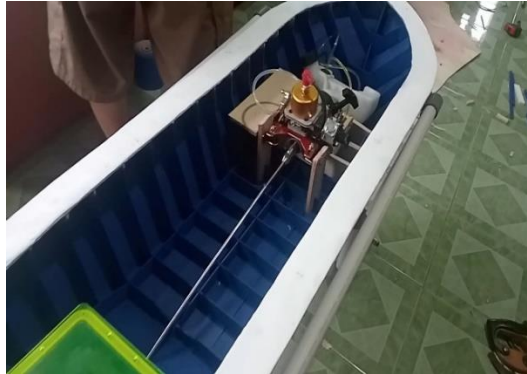
### 3.kenaikan Kecepatan Tidak linear tidak sempurna

Meskipun kecepatan meningkat, kenaikannya tidak selalu linear karena dipengaruhi oleh:

- 1) Hambatan air (drag)
- 2) Efisiensi Propeler
- 3) Getaran mesin

### 4.1.3 Hasil pengujian sistem propulsi

Berdasarkan hasil pengujian sistem propulsi pada kapal terdapat beberapa hasil yang didapat pada saat pengujian



Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Sistem Propulsi

Gambar 4.2 merupakan hasil pengujian sistem propulsi pada kapal. mekanisme kerja sistem propulsi dimulai dari sinyal yang diberikan melalui remote control, yang kemudian diterima oleh receiver dan diteruskan ke Electronic Speed Controller (ESC). ESC berfungsi mengatur besar kecilnya arus listrik yang disalurkan ke motor listrik, sehingga motor dapat berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan input yang diberikan. Putaran motor tersebut kemudian diteruskan melalui kopling ke poros (shaft), yang selanjutnya memutar propeller. Ketika propeller berputar, terjadi perbedaan tekanan pada air di sekitar baling-baling yang menghasilkan gaya dorong (thrust), sehingga kapal dapat bergerak maju maupun mundur.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor mampu merespon perubahan input throttle dengan cepat dan stabil. Pada saat throttle rendah, motor mulai berputar secara halus tanpa adanya getaran yang signifikan. Ketika throttle ditingkatkan, putaran motor meningkat secara bertahap dan proporsional, sehingga menghasilkan gaya dorong yang lebih besar.

#### 4.1.4 Hasil pengujian sistem kendali



Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Sistem Kendali

Gambar 4.3 menampilkan hasil pengujian sistem kendali. Berdasarkan hasil pengujian, sistem kendali menunjukkan respon yang baik terhadap setiap input yang diberikan oleh operator. Pada saat pergerakan joystick pada remote control receiver langsung menangkap sinyal, sinyal tersebut di teruskan ke servo dan ESC, kemudian servo menggerakkan rudder untuk mengubah arah kapal. Lalu ESC mengatur kecepatan putaran motor. Hasilnya tidak terdapat delay yang signifikan, Respon sistem bersifat real time, serta perubahan arah berlangsung cepat dan stabil

#### 4.1.5 Hasil pengujian manuver kapal



(1)



(2)

Gambar 4. 6 (1) dan (2) Hasil Pengujian Manuver Kapal

Gambar 4.1.5 Hasil pengujian manuver kapal. Pada saat dilakukan pengujian belok ke kiri dan ke kanan, kapal mampu merespon perintah dengan cepat dan mengikuti arah yang diinginkan tanpa adanya keterlambatan yang signifikan. Perubahan arah terjadi secara halus dan terkontrol, yang menunjukkan bahwa sistem kendali dan sistem propulsi bekerja secara terintegrasi dengan baik.

Selain itu pada pengujian putar balik, menunjukkan kapal mampu melakukan perubahan arah hingga 180 derajat dengan stabil. Selama proses putar balik, kapal tetap berada dalam kondisi seimbang tanpa mengalami oleng yang berlebihan. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan manuver ini tergolong cepat, yang menunjukkan bahwa respon sistem kendali terhadap perubahan arah cukup tinggi. Faktor kecepatan kapal juga mempengaruhi proses manuver, di mana pada kecepatan yang lebih tinggi, radius belok menjadi lebih besar dan membutuhkan ruang yang lebih luas untuk bermanuver.

#### 4.1.6 Hasil pengujian stabilitas kapal



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Stabilitas Kapal

Gambar 4.5 merupakan hasil pengujian stabilitas kapal.pada saat pengujian stabilitas kapal , hasil pengujian menunjukkan bahwa kapal mampu mempertahankan arah dengan baik tanpa mengalami penyimpangan yang signifikan. Gerakan kapal cenderung stabil dan tidak menunjukkan gejala osilasi atau gerakan zig-zag yang berlebihan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kendali mampu menjaga posisi rudder tetap netral ketika tidak ada input dari operator, sehingga arah gerak kapal tetap konsisten

Ketika dilakukan pengujian pada kondisi perubahan kecepatan, kapal tetap menunjukkan kestabilan yang baik. Saat kecepatan ditingkatkan secara bertahap, kapal tetap berada pada kondisi seimbang tanpa mengalami gejala oleng yang berlebihan. Demikian pula ketika kecepatan diturunkan, kapal dapat melambat secara stabil tanpa kehilangan keseimbangan. selama proses pengujian tidak ditemukan adanya gangguan yang signifikan akibat faktor eksternal seperti arus atau gelombang, karena pengujian dilakukan pada kondisi perairan yang relatif tenang.

## **4.2 Mekanisme kerja sistem propulsi**

Proses kerja sistem propulsi diawali dari pemberian perintah oleh operator melalui remote control yang kemudian diterima oleh receiver. Sinyal tersebut diteruskan ke ESC. Ketika ESC menerima sinyal throttle, perangkat ini akan mengubah sinyal tersebut menjadi pulsa PWM (Pulse Width Modulation) yang menentukan seberapa besar daya yang diberikan ke motor. Semakin besar sinyal yang diberikan, maka semakin besar pula arus yang mengalir sehingga putaran motor meningkat. Motor penggerak kemudian mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros motor. Putaran ini selanjutnya diteruskan melalui kopling menuju poros (shaft).

Kopling sebagai penghubung antara motor dan poros sekaligus meredam getaran serta mengatasi ketidaksejajaran antara dua komponen tersebut. Setelah itu, poros akan mentransmisikan putaran dari motor dan propeller yang berada di bagian belakang kapal. Ketika propeller berputar, sudu-sudu baling-baling akan mendorong air ke arah belakang, sehingga berdasarkan prinsip aksi dan reaksi, kapal akan terdorong ke arah depan. Besarnya gaya dorong yang dihasilkan bergantung pada kecepatan putaran propeller, ukuran dan bentuk baling-baling, serta kondisi fluida di sekitarnya. Jika arah putaran motor dibalik oleh ESC, maka arah dorongan air juga berubah sehingga kapal dapat bergerak mundur.

### **4.2.1 Pengaruh Sistem Kendali terhadap Manuver dan Stabilitas**

Pada saat pengujian, ketika operator memberikan perintah melalui remote control sistem kendali pada prototipe kapal RC PSV mampu memberikan respon yang cepat, akurat, dan stabil terhadap setiap perintah yang diberikan. Hal ini berdampak positif terhadap kemampuan manuver kapal yang menjadi lebih presisi serta stabilitas kapal yang tetap terjaga dalam berbagai kondisi pengoperasian. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap performa manuver dan stabilitas kapal, sehingga kualitas sistem kendali menjadi salah satu faktor utama dalam menentukan keberhasilan pengoperasian kapal secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali memiliki pengaruh yang sangat besar dalam menentukan kualitas manuver dan

stabilitas kapal. Sistem yang responsif dan akurat memungkinkan kapal untuk bergerak sesuai dengan perintah operator dengan tingkat kesalahan yang minimal. Selain itu, kestabilan sinyal dan kinerja komponen seperti servo dan ESC juga berkontribusi dalam menjaga keseimbangan kapal selama berbagai kondisi pengoperasian. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali yang digunakan pada prototipe kapal RC PSV telah mampu memberikan performa yang optimal dalam mendukung manuver yang presisi serta stabilitas kapal yang baik

#### **4.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Propulsi dan Kendali**

Berdasarkan hasil pengujian pada prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV), diperoleh beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi sistem propulsi dan kendali.

##### **1. Kinerja motor penggerak**



Gambar 4. 8 Motor Penggerak Kapal

Gambar 4.8 menunjukkan motor penggerak kapal. Berdasarkan hasil pengujian, motor mampu bekerja dengan baik pada berbagai variasi throttle, di mana peningkatan input menghasilkan peningkatan putaran secara bertahap dan stabil. Namun, pada kondisi beban tinggi atau penggunaan dalam waktu lama, efisiensi motor cenderung menurun akibat meningkatnya suhu dan konsumsi daya. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh kemampuan motor dalam bekerja pada kondisi optimal.

## 2. Bentuk Propeler



Gambar 4. 9 Bentuk propeler

Gambar 4.9 menampilkan bentuk propeller kapal PSV. Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa kesesuaian ukuran dan pitch propeller sangat menentukan efisiensi sistem. Propeller yang sesuai mampu menghasilkan dorongan maksimal dengan penggunaan energi yang lebih efisien. Sebaliknya, jika propeller tidak sesuai, maka akan terjadi slip yang menyebabkan energi terbuang dan kecepatan kapal tidak meningkat secara signifikan meskipun throttle ditambah.

## 3. Sistem Transmisi (Poros dan Kopling)



(1)



(2)

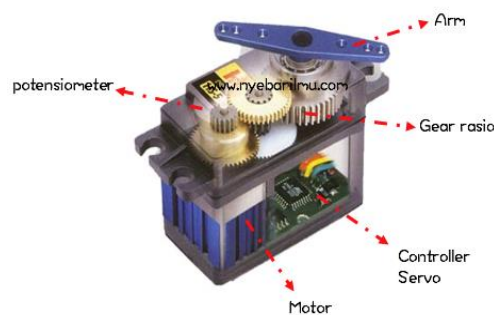
Gambar 4. 10 (1) dan (2) Kopling dan Poros

Gambar 4.10 (1 dan 2) menunjukkan kopling dan poros pada kapal PSV. Berdasarkan hasil pengujian, poros dan kopling mampu bekerja dengan baik tanpa adanya getaran berlebih atau kehilangan daya yang signifikan. Namun, efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh keselarasan (alignment) antara motor, kopling, dan poros. Ketidaksejajaran dapat menyebabkan gesekan tambahan yang mengakibatkan penurunan efisiensi serta peningkatan beban kerja motor.

#### 4. Kualitas Sinyal Sistem Kendali

Berdasarkan hasil pengujian, poros dan kopling mampu bekerja dengan baik tanpa adanya getaran berlebih atau kehilangan daya yang signifikan. Namun, efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh keselarasan (alignment) antara motor, kopling, dan poros. Ketidaksejajaran dapat menyebabkan gesekan tambahan yang mengakibatkan penurunan efisiensi serta peningkatan beban kerja motor.

#### 5. Kinerja Servo dalam Menggerakkan Rudder



Gambar 4. 11 Motor servo

Gambar 4.11 menunjukkan motor servo yang di gunakan untuk sistem kendali pada kapal PSV. Berdasarkan hasil pengujian, servo mampu merespon sinyal dengan cepat dan presisi, sehingga kapal dapat melakukan manuver dengan baik. Efisiensi kendali sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan akurasi servo. Servo yang kurang responsif dapat menyebabkan keterlambatan dalam perubahan arah, sehingga kapal membutuhkan waktu lebih lama untuk bermanuver dan mengakibatkan pemborosan energi.

#### 6. Pengaturan Electronic Speed Controller (ESC)



Gambar 4. 12 Elektronik speed controller (ESC)

Gambar 4.12 merupakan electronic speed control (ESC) pada kapal PSV. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESC mampu mengontrol kecepatan motor secara halus dan stabil. Namun, efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh kalibrasi ESC. Jika tidak dikalibrasi dengan baik, maka respon throttle menjadi tidak linear, sehingga motor tidak bekerja pada kondisi optimal dan menyebabkan konsumsi energi menjadi lebih besar.

#### 7. Hambatan Air (Hydrodynamic Resistance)

Berdasarkan pengujian, kapal membutuhkan energi lebih besar saat kecepatan meningkat karena adanya peningkatan hambatan air. Bentuk lambung dan kondisi permukaan kapal sangat mempengaruhi besar kecilnya hambatan ini. Semakin besar hambatan yang terjadi, maka efisiensi sistem akan menurun karena energi yang dibutuhkan semakin besar.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap prototipe kapal RC Boat jenis Platform Supply Vessel (PSV), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

##### **1. Mekanisme kerja sistem propulsi**

Sistem propulsi pada prototipe kapal RC Boat PSV bekerja secara efektif melalui rangkaian komponen utama, yaitu motor penggerak, kopling, poros, dan propeller. Motor menghasilkan putaran yang diteruskan melalui sistem transmisi menuju propeller sehingga menghasilkan gaya dorong (thrust). Gaya dorong ini memungkinkan kapal bergerak maju maupun mundur sesuai dengan perintah kendali. Sistem ini menunjukkan kinerja yang stabil tanpa kehilangan daya yang signifikan selama pengujian.

##### **2. Hasil pengujian kecepatan kapal**

Berdasarkan hasil pengujian kecepatan pada BAB IV, diperoleh bahwa:

- a. Pengujian dilakukan dengan beberapa percobaan bukaan gas throttle. Pada kondisi throttle 25%, kapal menghasilkan kecepatan sebesar 2,77 m/s, kemudian meningkat menjadi 3,57 m/s pada throttle 50%, 4,16 m/s pada throttle 75%, dan mencapai kecepatan maksimum sebesar 6,25 m/s pada throttle 100%.
- b. Kecepatan kapal meningkat seiring dengan bertambahnya input throttle.
- c. Hubungan antara jarak tempuh dan waktu menunjukkan bahwa sistem propulsi mampu menghasilkan kecepatan yang stabil.
- d. Kapal tidak mengalami gangguan signifikan seperti getaran berlebih atau kehilangan arah saat bergerak pada kecepatan tertentu.
- e. Performa kecepatan kapal dipengaruhi oleh efisiensi sistem propulsi serta hambatan air yang terjadi selama pergerakan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem propulsi yang digunakan mampu menghasilkan performa kecepatan yang baik dan sesuai dengan desain prototipe.

3. Pengaruh sistem kendali terhadap manuver dan stabilitas Sistem kendali pada prototipe kapal yang terdiri dari remote control, ESC, dan servo mampu memberikan respon yang cepat, akurat, dan stabil terhadap perintah operator. Hal ini ditunjukkan dengan:

- a. Kapal mampu melakukan manuver seperti belok kiri, kanan, dan putar balik dengan baik
- b. Respon kemudi cepat dan sesuai input
- c. Kapal tetap stabil saat bermanuver
- d. Tidak terjadi oleng berlebihan selama pengujian

Dengan demikian, sistem kendali memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kualitas manuver dan stabilitas kapal.

4. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem

Efisiensi sistem propulsi dan kendali dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu:

- a. Kinerja motor penggerak menentukan daya dorong dan efisiensi energi .
- b. Propeller ukuran dan pitch mempengaruhi thrust .
- c. Sistem transmisi (poros & kopling) keselarasan mempengaruhi kehilangan daya .
- d. Kualitas sinyal kendali mempengaruhi respon sistem .
- e. Kinerja servo menentukan kecepatan dan akurasi kemudi .
- f. Pengaturan ESC mempengaruhi kestabilan putaran motor .
- g. Hambatan air mempengaruhi kebutuhan energi saat kapal bergerak .

Semua faktor ini saling berkaitan dalam menentukan performa keseluruhan kapal.

## 5. Kinerja keseluruhan sistem

Secara keseluruhan, prototipe kapal RC Boat PSV yang dirancang dan diuji telah menunjukkan kinerja yang optimal. Sistem propulsi dan sistem kendali dapat bekerja secara terintegrasi dan saling mendukung, sehingga menghasilkan:

- a. Kecepatan yang stabil
- b. Manuver yang presisi
- c. Stabilitas yang baik

Dengan demikian, penelitian ini berhasil mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

## 5.2 saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

### 1. Pengembangan sistem kendali

Disarankan untuk mengembangkan sistem kendali menjadi berbasis otomatis (autonomous system) dengan menggunakan mikrokontroler dan sensor seperti GPS, gyroscope, atau kompas digital.

### 2. Optimasi sistem propulsi

Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait pemilihan propeller dan motor agar diperoleh efisiensi energi yang lebih tinggi dan performa kecepatan yang lebih optimal.

### 3. Pengujian kondisi nyata

Pengujian selanjutnya disarankan dilakukan pada kondisi perairan yang lebih kompleks seperti:

- a. Arus
- b. Gelombang
- c. Angin

Agar hasil lebih mendekati kondisi operasional sebenarnya.

### 4. Analisis hidrodinamika

Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai:

- a. Bentuk lambung kapal
- b. ambatan air
- c. Interaksi fluida

Untuk meningkatkan efisiensi dan performa kapal.

### 5. Peningkatan kualitas komponen

Disarankan menggunakan komponen dengan spesifikasi lebih tinggi (servo, ESC, motor) untuk meningkatkan akurasi dan daya tahan sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. G. G. Santosa, “Propulsi Kapal dalam Tinjauan Uji Model,” *Wave J. Ilm. Teknol. Marit.*, vol. 10, no. 1, pp. 25–30, 2016, doi: 10.29122/jurnalwave.v10i1.2630.
- [2] S. Perencanaan, F. Teknik, and U. N. Surabaya, “Pemodelan Sistem Kontrol Stabilizer PWM Motor Thruster Menggunakan Electric Speed Controller Pada Prototipe Autonomous Tourism Surface Vessel Berbasis PID Pemodelan Sistem Kontrol Stabilizer PWM Motor Thruster Menggunakan Electric Speed Controller Pada Pr,” pp. 237–247.
- [3] E. Pranatal, R. Puranggo, G. Widityo, D. Fitria, and F. Lungari, “STUDI INTERAKSI KAPAL-PROPELER PADA PLANING HULL AKIBAT PERBEDAAN SUDUT DEADRISE Study of Ship-Propeller Interaction on Planing Hull due to Different Angles Deadrise,” *J. Ilm. Teknol. Marit.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [4] M. N. A. A. Aziz and M. Mastuki, “Analisa Pengaruh Variasi Ukuran Dan Jumlah Pitch Propeller Terhadap Laju Rc Boat Fuel Engine Mianto Untag Surabaya,” *Mek. J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 101–108, 2025, doi: 10.30996/jm.v10i2.12599.
- [5] W. Sulistyawati and P. J. Suranto, “Perancangan Rc (Remote Control) Boat Patrol 80 Cm Dengan Propulsi Waterjet,” *Bina Tek.*, vol. 12, no. 1, p. 41, 2017, doi: 10.54378/bt.v12i1.88.
- [6] X. Gao and T. Li, “Dynamic Positioning Control for Marine Crafts: A Survey and Recent Advances,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.3390/jmse12030362.
- [7] R. Skjetne, Ø. N. Smogeli, and T. I. Fossen, “A Nonlinear Ship Manoeuvring Model: Identification and adaptive control with experiments for a model ship,” *Model. Identif. Control*, vol. 25, no. 1, pp. 3–27, 2004, doi: 10.4173/mic.2004.1.1.
- [8] A. Lovo-Ayala, R. Soto-Diaz, C. A. Gutierrez-Martinez, J. F. Jimenez-

- Vargas, J. Jiménez-Cabas, and J. Escorcía-Gutierrez, "Simplified Model Characterization and Control of an Unmanned Surface Vehicle," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–19, 2025, doi: 10.3390/jmse13040813.
- [9] D. A. Ayuningtyas, Z. Z. Sanjiwo, and A. K. Yusim, "Penentuan Dimensi dan Jenis Propeller Kapal Ikan untuk Menghasilkan Sistem Propulsi yang Optimal," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 1, pp. 53–64, 2024, doi: 10.32497/jrm.v19i1.4795.
- [10] M. H. Kurniawan, "Scientica Scientica," *Apl. Identifikasi Kendaraan Karyawan Dengan Metod. Convolutional Neural Netw.*, vol. 2, pp. 251–255, 2024.
- [11] M. S. Siregar, D. V. Hartati, P. P. Malahayati, P. Ilmu, and P. Makassar, "Pengoperasian Dynamic Positioning System di Kapal PSV . WM Sulawesi saat Snatching pada Drillship GSF Explorer," pp. 189–198, 2023.
- [12] A. A. Bekti, "Perancangan Prototipe Kapal Remote Control Pemberi Pakan pada Budidaya Benih Ikan Mas Berkapasitas Muatan 2 kg Menggunakan Metode Perbandingan dengan Skala 1 : 25," vol. 16, no. 1, pp. 76–83, 2021.
- [13] R. Bangun, M. Hidroelastik, and K. Selam, "Rancang Bangun Model Hidroelastik Kapal Selam Berpropulsi Mandiri untuk Uji Nirkabel Pemantauan Integritas Struktur," vol. 15, no. 3, pp. 74–82, 2018.
- [14] B. Peng, "A Review of Research on Marine Main Propulsion Systems," vol. 9, no. 1, pp. 189–192, 2024.
- [15] W. Liyun, X. Jianmei, and W. Xihuai, "Ship Dynamic Positioning Systems based on Fuzzy Predictive Control," vol. 11, no. 11, pp. 6769–6779, 2013.
- [16] M. Fiqri *et al.*, "PERANCANGAN SISTEM KENDALI PROTOTIPE KAPAL PARIWISATA BERBASIS ARDUINO UNO," vol. 9, no. 2, pp. 101–107, 2025.
- [17] F. I. Pasaribu, B. S. Kusuma, N. Evalina, E. Sahnur, F. Rizky, and E. Sipahutar, "Desain Sistem Kontrol Jarak Jauh Pintu Pagar Melalui Internet of Things," pp. 1–6, 2024.

- [18] S. Pengamanan, P. Kereta, A. Terhadap, J. Lalu, and L. Jalan, “Sistem Pengamanan Perlintasan Kereta Api Terhadap Jalur Lalu Lintas Jalan Raya Railway Crossing Security System Against Highway Traffic Lines,” vol. 4, no. 1, 2020.
- [19] S. Muntaha, R. Haryani, and M. Yusuf, “Optimization of the Steering System to Improve the Maneuverability of the Barombong Training Ship,” vol. 4, no. 11, pp. 3058–3071, 2025.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### Data Pribadi

Nama : Abdul Samin Hasibuan  
 Tempat/Tanggal : Tanjung Raya, 25 April 2003  
 Jenis Kelamin : Laki-laki  
 Umur : 23  
 Agama : Islam  
 Status : Belum Kawin  
 Tinggi Badan / Berat Badan : 175 cm / 54 kg  
 Kewarganegaraan : Indonesia  
 Alamat : Tanjung Raya, Bilah Barat, Kab.Labuhan Batu  
 No Hp : 081264093162  
 Email : aminsaskena@gmail.com

### Data Orang Tua

Nama Ayah : Parmohonan Hasibuan  
 Agama : Islam  
 Kewarganegaraan : Indonesia  
 Nama Ibu : Nur Asiah Tanjung  
 Agama : Islam  
 Kewarganegaraan : Indonesia  
 Alamat : Tanjung Raya, Bilah Barat, Kab.Labuhan Batu

### Latar Belakang Pendidikan

SDN 112155 Gunung Raya : Tahun 2010 - 2016  
 SMP N 1 Bilah Barat : Tahun 2016 - 2019  
 SMA N 3 Rantau Utara : Tahun 2019 - 2022  
 Mahasiswa Prodi Teknik : Tahun 2022 - 2026  
 Elektro Fakultas Teknik  
 Universitas Muhammadiyah  
 Sumatera Utara



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)  
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Abdul Samin hasibuan  
NPM : 2207220100  
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Sistem Kerja Propulsi dan Kendali Pada Prototipe Kapal RC Boat Jenis Kapal Platform Supply Vessel (PSVs)

No.	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1.	15/12/2025	Revisi BAB I Pendahuluan (Latar belakang penelitian sebelumnya)	
2.	20/12/2025	Revisi Tujuan penelitian dan Manfaat penelitian	
3.	10/01/2026	Revisi BAB II Tinjauan Pustaka (masukkan tanda titik-titik pada tiap persamaan rumus)	
4.	15/01/2026	Revisi BAB II Tinjauan Pustaka (Menambahkan penjelasan setiap gambar)	
5.	18/01/2026	Revisi BAB II Metodologi Penelitian (Perbaiki flowchart penelitian)	
6.	26/01/2026	ACC Sempro	

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T.  
NIDN. 0130118101



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)  
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Abdul Samin Hasibuan  
NPM : 2207220100  
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Sistem Kerja Propulsi dan Kendali Pada Prototipe Kapal RC Boat Jenis Kapal Platform Supply Vessel (PSVs)

No.	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1.	05/03/2026	Revisi Abstrak (masukkan latar belakang, tujuan penelitian, metode, dan hasil kesimpulan).	
2.	10/03/2026	Revisi Sistematika penulisan BAB IV	
3.	15/03/2026	Revisi menambahkan keterangan dan penjelasan gambar pada BAB IV	
4.	30/03/2026	Revisi BAB IV untuk memasukkan penjelasan pada setiap grafik	
5.	03/04/2026	Revisi BAB V (urutan kesimpulan sesuai rumusan masalah)	
6.	05/04/2026	ACC Semhas	

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T.  
NIDN. 0130118101




UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)  
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Abdul Samin Hasibuan  
NPM : 2207220100  
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Sistem Kerja Propulsi dan Kendali Pada Prototipe Kapal RC Boat Jenis Kapal Platform Supply Vessel (PSVs)

No.	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1.	10/04/2025	Revisi BAB IV (Mengganti nama subjudul pada hasil dan pembahasan)	
2.	11/04/2026	ACC Sidang	

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

  
Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T.  
NIDN. 0130118101