

LAPORAN TUGAS AKHIR  
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL  
DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *FUZZY-  
PID***



RAHMA NURUL AFIFAH  
NIT. 09 21 010 207

disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA  
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN  
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL  
TAHUN 2025

LAPORAN TUGAS AKHIR  
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL  
DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *FUZZY-  
PID***



RAHMA NURUL AFIFAH  
NIT. 09 21 010 207

disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA  
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN  
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL  
TAHUN 2025

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN  
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN  
KAPAL DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA  
BERBASIS *FUZZY-PID*

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : RAHMA NURUL AFIFAH

NIT : 09.21.010.2.07

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan


Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan  
Seminar Proposal Tugas Akhir

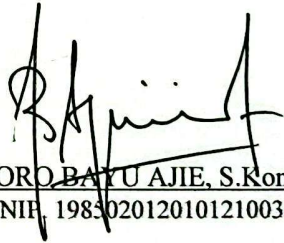
Surabaya, 18 Desember 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
EDI KURNIAWAN, S.ST., M.T  
NIP. 198312022019021001

  
KUNTORO BAYU AJIE, S.Kom., M.T  
NIP. 198502012010121003

Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

  
AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd  
NIP. 19800517200502103

**PERSETUJUAN SEMINAR  
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN  
KAPAL DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA  
BERBASIS *FUZZY-PID*

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : RAHMA NURUL AFIFAH

NIT : 09.21.010.2.07

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan


Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan  
Seminar Hasil Tugas Akhir

Surabaya, 28 Juli 2025

Menyetujui,


Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
EDI KURNIAWAN, S.ST., M.T  
NIP. 198312022019021001

  
KUNTORO BAYU AJIE, S.Kom., M.T  
NIP. 198502012010121003

Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

  
DIRHAMSYAH, S.E, M.Pd  
NIP. 1975043020021212

**PENGESAHAN  
PROPOSAL TUGAS AKHIR  
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL DENGAN  
SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *FUZZY-PID***

Disusun oleh:

**RAHMA NURUL AFIFAH**

**NIT. 09.21.010.2.07**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Proposal Tugas Akhir  
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 10 Januari 2025

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



Dr. AGUS DWI SANTOSO, S.T., M.T., M.Pd  
NIP. 197808192000031001

Dosen Penguji II



RIZQI AINI R., S.ST.Pel., M.M.Tr  
NIP. 198904062019022002

Dosen Penguji III



EDI KURNIAWAN, S.ST., M.T  
NIP. 198312022019021001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



DIRHAM SYAH, S.E, M.Pd  
NIP. 197504302002121002

**PENGESAHAN  
LAPORAN TUGAS AKHIR  
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL DENGAN  
SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *FUZZY-PID***

Disusun oleh:

**RAHMA NURUL AFIFAH**

**NIT. 09.21.010.2.07**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir  
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 07 Agustus 2025  
Mengesahkan,

Dosen Penguji I



Dr. AGUS DWI SANTOSO, S.T., M.T., M.Pd  
NIP. 197808192000031001

Dosen Penguji II



RIZQI AINI R., S.S.T.Pel., M.M.Tr  
NIP. 198904062019022002

Dosen Penguji III



EDI KURNIAWAN, S.ST., M.T  
NIP. 198312022019021001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



DIRHAMSYAH, S.E, M.Pd  
NIP. 197504302002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : RAHMA NURUL AFIFAH

Nomor Induk Taruna : 09 21 010 207

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

**“PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL DENGAN SISTEM  
PROPULSI HIBRIDA BERBASIS FUZZY-PID”**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 07 Agustus 2025



RAHMA NURUL AFIFAH

## ABSTRAK

RAHMA NURUL AFIFAH, (2025) “Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis *Fuzzy-PID*”. Dibimbing oleh Bapak Edi Kurniawan, S.ST, MT. dan Bapak Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom., M.T.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengetahui sistem kontrol Fuzzy-PID terhadap kecepatan kapal dengan sistem propulsi hibrida. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar pada mesin Internal Combustion Engine, sehingga diharapkan dapat mengurangi emisi gas buang pada lingkungan. Sistem kontrol menggunakan kontrol Fuzzy-PID yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan metode Fuzzy-PID pada kapal dengan sistem propulsi hibrida. Perancangan sistem ini melibatkan penggunaan pihawk sebagai pemantau kecepatan kapal, mikrokontroler STM32 sebagai pengolah data, mesin ICE sebagai mesin induk, motor BLDC sebagai mesin penggerak pembantu, sensor photodiode sebagai pembaca RPM pada mesin induk dan motor BLDC, serta metode Fuzzy-PID sebagai pengolahan nilai error. Hasil percobaan yang dilakukan, percobaan tanpa kontrol menghasilkan nilai error yang paling besar dibandingkan dengan percobaan dengan kontrol, dengan rata-rata nilai error sebesar 30,4%, percobaan dengan kontrol PID menghasilkan nilai rata-rata error sebesar 30,2% dan percobaan dengan optimalisasi kontrol Fuzzy PID menghasilkan rata-rata nilai error yang paling kecil yaitu 22,4%. Penggunaan bahan bakar paling sedikit ada pada percobaan dengan kontrol PID, dengan paling sedikit penggunaan pada 6,44 mL saat percobaan dengan *setpoint* kecepatan 4,87 knot.

**Kata kunci:** Propulsi hibrida, metode *Fuzzy-PID*, mesin ICE, motor BLDC.

## **ABSTRACT**

RAHMA NURUL AFIFAH, (2025) “*Design of Ship Speed Control System with Fuzzy-PID Based Hybrid Propulsion System*”. Supervised by Mr. Edi Kurniawan, S.ST., MT. and Mr. Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom., M.T.

*This study aims to design and determine the Fuzzy-PID control system for ship speed with a hybrid propulsion system. This system is designed to increase the efficiency of fuel use in Internal Combustion Engines, so it is expected to reduce exhaust emissions in the environment. The control system uses Fuzzy-PID control which aims to determine the effectiveness of using the Fuzzy-PID method on ships with hybrid propulsion systems. The design of this system involves the use of a Pixhawk as a ship speed monitor, an STM32 microcontroller as a data processor, an ICE engine as a main engine, a BLDC motor as an auxiliary propulsion engine, a photodiode sensor as an RPM reader on the main engine and BLDC motor, and the Fuzzy-PID method as an error value processing. The results of the experiments conducted, experiments without control produced the largest error value compared to experiments with control, with an average error value of 30.4%, experiments with PID control produced an average error value of 30.2% and experiments with Fuzzy PID control optimization produced the smallest average error value of 22.4%. The lowest fuel consumption was found in the PID-controlled experiment, with the lowest consumption at 6.44 mL during the experiment with a setpoint speed of 4.87 knots.*

**Keywords:** *Hybrid propulsion, Fuzzy-PID method, ICE machine, BLDC motor.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala limpah rahmat, kasih karunia dan berkat yang diberikan, sehingga peneliti dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul “*Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis Fuzzy-PID*”. Penelitian tugas akhir ini adalah dalam maksud untuk menyelesaikan program studi Sarjana Terapan di Politeknik Pelayaran Surabaya.

Peneliti menyadari adanya kekurangan dalam penyajian materi dan teknik penelitian dalam karya ilmiah terapan ini. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan koreksi dan saran untuk meningkatkan kualitas karya ilmiah ini.

Pada kesempatan ini peneliti ingin berterima kasih kepada:

1. Bapak Moejiono, MT. M.Mar.E selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah menyediakan sarana dan prasarana untuk kelancaran penyelesaian KIT.
2. Bapak Dirhamsyah, S.E., M.Pd. selaku Ketua Prodi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal.
3. Bapak Edi Kurniawan, S.ST.,M.T. dan Bapak Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan peneliti selama proses penulisan karya ilmiah.
4. Kedua orang tua peneliti, Bapak Sumarno dan Ibu Saminem yang selalu memberikan semangat, dukungan, doa yang tiada henti, moral dan material yang selalu mengiringi langkah peneliti.
5. Fajar sebagai kakak peneliti dan Harits sebagai adik peneliti yang selalu memberikan doa dan semangat kepada peneliti.
6. Kelompok *Capstone Design* yang selalu memberi masukan, informasi, semangat dan bantuan antar anggotanya.
7. Rekan seperjuangan taruna – taruni Politeknik Pelayaran Surabaya batalyon ETO Angkatan 40.
8. Seluruh *crew* kapal MT. Panjang dan rekan cadet kapal MT. Panjang yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman dan motivasi kepada peneliti selama peneliti melaksanakan praktek laut.
9. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah berkontribusi dan memberikan dukungan dalam penulisan karya ilmiah ini.
10. Rahma Nurul Afifah, apresiasi sebesar-besarnya karena telah menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha untuk tidak menyerah serta senantiasa menikmati setiap proses yang tidak mudah. Terima kasih sudah bertahan.

Peneliti menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penelitian karya ilmiah ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat peneliti harapkan. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya,.....2025

Rahma Nurul Afifah  
NIT. 09 21 010 207

## DAFTAR ISI

<b>LAPORAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iv</b>
<b>PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....</b>	<b>v</b>
<b>PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
A. Review Penelitian Sebelumnya.....	6
B. Landasan Teori.....	9
1. Kapal Trimaran .....	10
2. Mesin Otto.....	11

3. Motor <i>Brushless Direct Current</i> (BLDC).....	11
4. Sensor <i>Photodiode</i> .....	12
5. <i>Pixhawk</i> .....	13
6. STM32 .....	14
7. Transistor-Transistor Logic for RS .....	15
8. <i>Electronic Speed Controller</i> .....	16
9. ESP32.....	17
10. Sensor Arus ACS758 .....	17
11. Sensor Tegangan .....	18
12. Sensor Flowmeter .....	19
13. Baterai Li-Po .....	19
14. Motor Servo .....	20
15. Sistem Propulsi Hibrida .....	21
16. Metode Logika Fuzzy .....	22
17. Sistem Kontrol PID.....	22
18. Sistem Kontrol Fuzzy-PID.....	24
C. Kerangka Berfikir.....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
A. Perancangan Sistem .....	26
B. Perancangan Alat .....	27
1. Blok Diagram.....	28
2. Flowchart .....	29
3. Blok Diagram Alat .....	34
4. Wiring Diagram .....	35

5. Desain <i>Prototype</i> Kapal Trimaran .....	38
C. Rencana Pengujian .....	39
1. Rancangan Pengujian Statis .....	39
2. Rencana Pengujian Dinamis .....	40
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
A. Pengujian.....	42
1. Pengujian Statis.....	42
2. Pengujian Dinamis .....	58
B. Analisa Data.....	116
1. Analisis Pengujian Statis.....	116
2. Analisis Pengujian Dinamis .....	117
C. Kajian Produk Akhir .....	148
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>152</b>
A. Simpulan .....	152
B. Saran.....	153
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>155</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>159</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kapal Trimaran .....	10
Gambar 2. 2 Motor Otto Zenoah G260RC .....	11
Gambar 2. 3 Ilustrasi magnet permanent pada motor BLDC.....	12
Gambar 2. 4 Sensor Photodioda.....	12
Gambar 2. 5 Pixhawk.....	13
Gambar 2. 6 Board dan pin STM32 .....	15
Gambar 2. 7 Transistor-Transistor Logic.....	15
Gambar 2. 8 Electronic Speed Controller .....	16
Gambar 2. 9 ESP32 .....	17
Gambar 2. 10 Sensor ACS758 .....	18
Gambar 2. 11 Sensor Tegangan .....	18
Gambar 2. 12 Sensor Flowmeter.....	19
Gambar 2. 13 Batterai Li-Po .....	20
Gambar 2. 14 Motor Servo.....	21
Gambar 2. 15 Kontrol PID .....	23
Gambar 2. 16 Kerangka Berfikir.....	25
Gambar 3. 1 Blok Diagram Perancangan Sistem.....	26
Gambar 3. 2 Diagram Perancangan Alat.....	28
Gambar 3. 3 Flowchart.....	29
Gambar 3. 4 Blok Diagram Alat .....	34
Gambar 3. 5 Wiring Diagram.....	36
Gambar 3. 6 Desain Prototype Kapal Trimaran.....	38
Gambar 4. 1 Pengujian mesin ICE.....	42
Gambar 4. 2 Pengujian motor BLDC.....	44
Gambar 4. 3 Pengujian ESC.....	44
Gambar 4. 4 Pembacaan Serial Monitor .....	45
Gambar 4. 5 Pengujian sensor photodioda .....	47
Gambar 4. 6 Pengujian dengan menggunakan tachometer .....	48
Gambar 4. 7 Serial Monitor Sensor Photodioda .....	50
Gambar 4. 8 Pengujian STM32 (A) LED mati (B) LED menyala.....	51
Gambar 4. 9 Pengujian ESP32 (A) LED mati (B) LED menyala.....	52
Gambar 4. 10 Pengiriman Data Melalui Wi-fi.....	52
Gambar 4. 11 Pengujian dengan 1 Resistor .....	53
Gambar 4. 12 Pengujian dengan 2 Resistor .....	54
Gambar 4. 13 Pengujian Sensor Tegangan .....	56
Gambar 4. 14 Pengujian Motor Servo.....	58
Gambar 4. 15 Pengujian Dinamis .....	59
Gambar 4. 16 Pengujian Arus Sungai .....	59
Gambar 4. 17 Ketinggian Gelombang .....	60

Gambar 4. 18 Grafik Pengujian Tanpa Kontrol Setpoint 2,16 knot.....	61
Gambar 4. 19 Grafik RPM Motor BLDC Setpoint 2,16 knot Tanpa Kontrol .....	61
Gambar 4. 20 Arus Motor BLDC Setpoint 2,16 Knot Tanpa Kontrol.....	62
Gambar 4. 21 Tegangan Motor BLDC Setpoint 2,16 Knot Tanpa Kontrol.....	62
Gambar 4. 22 RPM Mesin ICE Setpoint 2,16 Knot Tanpa Kontrol .....	63
Gambar 4. 23 Buka-an Throttle Setpoint 2,16 Knot Tanpa kontrol.....	63
Gambar 4. 24 Penggunaan Bahan Bakar Setpoint 2,16 Knot Tanpa Kontrol.....	64
Gambar 4. 25 Grafik Pengujian Tanpa Kontrol Setpoint 2,7 knot.....	64
Gambar 4. 26 Grafik RPM Motor BLDC Setpoint 2,7 knot Tanpa Kontrol .....	65
Gambar 4. 27 Arus Motor BLDC Setpoint 2,7 Knot Tanpa Kontrol.....	65
Gambar 4. 28 Tegangan Motor BLDC Setpoint 2,7 Knot Tanpa Kontrol.....	66
Gambar 4. 29 RPM Mesin ICE Setpoint 2,7 Knot Tanpa Kontrol .....	66
Gambar 4. 30 Buka-an Throttle Setpoint 2,7 Knot Tanpa Kontrol .....	67
Gambar 4. 31 Konsumsi Bahan Bakar Setpoint 2,7 Knot Tanpa Kontrol .....	67
Gambar 4. 32 Grafik Pengujian Tanpa Kontrol Setpoint 3,78 knot.....	68
Gambar 4. 33 Grafik RPM Mesin ICE Setpoint 3,78 Knot Tanpa Kontrol.....	69
Gambar 4. 34 Sudut Throttle Setpoint 3,78 Knot Tanpa Kontrol.....	69
Gambar 4. 35 Grafik Pemakaian Bahan Bakar Setpoint 3,78 knot.....	70
Gambar 4. 36 RPM Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Tanpa Kontrol.....	70
Gambar 4. 37 Arus Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Tanpa Kontrol.....	71
Gambar 4. 38 Tegangan Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Tanpa Kontrol.....	71
Gambar 4. 39 Grafik Pengujian Tanpa Kontrol Setpoint 4,86 knot.....	72
Gambar 4. 40 Grafik RPM Mesin ICE Setpoint 4,86 knot Tanpa Kontrol.....	72
Gambar 4. 41 Sudut Throttle Setpoint 4,86 Knot Tanpa Kontrol.....	73
Gambar 4. 42 Grafik Pemakaian Bahan Bakar Setpoint 4,86 knot.....	73
Gambar 4. 43 RPM Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Tanpa Kontrol.....	74
Gambar 4. 44 Arus Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Tanpa Kontrol.....	74
Gambar 4. 45 Tegangan Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Tanpa Kontrol.....	75
Gambar 4. 46 Grafik Percobaan Tanpa Kontrol Setpoint 5,94 knot.....	75
Gambar 4. 47 Grafik RPM Mesin ICE Setpoint 5,94 knot Tanpa Kontrol.....	76
Gambar 4. 48 Sudut Throttle Setpoint 5,94 Knot Tanpa Kontrol.....	76
Gambar 4. 49 Grafik Pemakaian Bahan Bakar Setpoint 5,94 knot .....	77
Gambar 4. 50 RPM Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Tanpa Kontrol.....	77
Gambar 4. 51 Arus Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Tanpa Kontrol.....	78
Gambar 4. 52 Tegangan Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Tanpa Kontrol.....	78
Gambar 4. 53 Grafik Percobaan dengan Setpoint Kecepatan 2,16 knot .....	79
Gambar 4. 54 Grafik RPM Motor BLDC dengan Kontrol PID .....	80
Gambar 4. 55 Arus Motor BLDC Setpoint 2,16 Knot Kontrol PID .....	80
Gambar 4. 56 Tegangan Motor BLDC Setpoint 2,16 Knot Kontrol PID .....	81
Gambar 4. 57 RPM Mesin ICE Setpoint 2,16 Knot Kontrol PID.....	81
Gambar 4. 58 Sudut Throttle Setpoint 2,16 Knot Kontrol PID .....	82
Gambar 4. 59 Fuel Consumption Setpoint 2,16 Knot Kontrol PID.....	82

Gambar 4. 60 Grafik Kecepatan Setpoint 2,7 Knot Kontrol PID .....	83
Gambar 4. 61 Grafik RPM Motor BLDC Setpoint 2,7 Knot Kontrol PID .....	83
Gambar 4. 62 Grafik Arus Motor BLDC Setpoint 2,7 Knot Kontrol PID.....	84
Gambar 4. 63 Grafik Tegangan Motor BLDC Setpoint 2,7 Knot Kontrol PID....	84
Gambar 4. 64 RPM Mesin ICE Setpoint 2,7 Knot Kontrol PID.....	85
Gambar 4. 65 Sudut Throttle Setpoint 2,7 Knot Kontrol PID .....	85
Gambar 4. 66 Konsumsi Bahan Bakar Setpoint 2,7 Knot Kontrol PID.....	86
Gambar 4. 67 Grafik Percobaan Kontrol PID Setpoint 3,78 knot .....	86
Gambar 4. 68 PRM Mesin ICE Setpoint 3,78 knot dengan Kontrol PID .....	87
Gambar 4. 69 Sudut Throttle Setpoint 3,78 Knot Kontrol PID .....	87
Gambar 4. 70 Grafik Penggunaan Bahan Bakar .....	88
Gambar 4. 71 RPM Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Kontrol PID.....	88
Gambar 4. 72 Arus Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Kontrol PID .....	89
Gambar 4. 73 Tegangan Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Kontrol PID .....	89
Gambar 4. 74 Grafik Percobaan Kontrol PID Setpoint 4,86 knot .....	90
Gambar 4. 75 Grafik RPM Mesin ICE.....	90
Gambar 4. 76 Sudut Throttle Setpoint 4,86 Knot Kontrol PID .....	91
Gambar 4. 77 Grafik Penggunaan Bahan Bakar .....	91
Gambar 4. 78 RPM Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Kontrol PID.....	92
Gambar 4. 79 Arus Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Kontrol PID .....	92
Gambar 4. 80 Tegangan Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Kontrol PID .....	93
Gambar 4. 81 Grafik Kecepatan.....	93
Gambar 4. 82 Grafik RPM Mesin ICE dan Motor BLDC1.....	94
Gambar 4. 83 Sudut Throttle Setpoint 5,94 Knot Kontrol PID .....	94
Gambar 4. 84 Grafik Penggunaan Bahan Bakar .....	95
Gambar 4. 85 RPM Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Kontrol PID.....	95
Gambar 4. 86 Arus Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Kontrol PID .....	96
Gambar 4. 87 Tegangan Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Kontrol PID .....	96
Gambar 4. 88 Grafik Percobaan Kontrol Fuzzy PID Setpoint 2,16 knot.....	97
Gambar 4. 89 Grafik RPM Motor BLDC .....	98
Gambar 4. 90 Arus Motor BLDC Setpoint 2,16 Knot Kontrol Fuzzy PID .....	98
Gambar 4. 91 Arus Motor BLDC Setpoint 2,16 Knot Kontrol Fuzzy PID .....	99
Gambar 4. 92 RPM Motor BLDC Setpoint 2,16 Knot Kontrol Fuzzy PID.....	99
Gambar 4. 93 Sudut Throttle Setpoint 2,16 Knot Kontrol Fuzzy PID.....	100
Gambar 4. 94 Pemakaian Bahan Bakar Setpoint 2,16 Knot Kontrol Fuzzy PID	100
Gambar 4. 95 Grafik Percobaan Kontrol Fuzzy PID Setpoint 2,7 knot.....	101
Gambar 4. 96 Grafik RPM Motor BLDC .....	101
Gambar 4. 97 Arus Motor BLDC Setpoint 2,7 Knot Kontrol Fuzzy PID .....	102
Gambar 4. 98 Tegangan Motor BLDC Setpoint 2,7 Knot Kontrol Fuzzy PID ..	102
Gambar 4. 99 RPM Mesin ICE Setpoint 2,7 Knot Kontrol Fuzzy-PID.....	103
Gambar 4. 100 Sudut Throttle Setpoint 2,7 Knot Kontrol Fuzzy PID.....	103
Gambar 4. 101 Konsumsi Bahan Bakar Setpoint 2,7 Knot Kontrol Fuzzy-PID.	104

Gambar 4. 102 Grafik Percobaan Kontrol Fuzzy PID Setpoint 3,78 knot.....	105
Gambar 4. 103 Grafik RPM Mesin ICE .....	105
Gambar 4. 104 Sudut Throttle Setpoint 3,78 Knot Kontrol Fuzzy-PID .....	106
Gambar 4. 105 Grafik Penggunaan Bahan Bakar .....	106
Gambar 4. 106 RPM Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Kontrol Fuzzy PID .....	107
Gambar 4. 107 Arus Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot Kontrol Fuzzy PID .....	107
Gambar 4. 108 Tegangan Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot .....	108
Gambar 4. 109 Grafik Percobaan Kontrol Fuzzy PID Setpoint 4,86 knot.....	108
Gambar 4. 110 Grafik RPM Mesin ICE .....	109
Gambar 4. 111 Sudut Throttle Setpoint 4,86 Knot Kontrol Fuzzy PID.....	109
Gambar 4. 112 Grafik Penggunaan Bahan Bakar .....	110
Gambar 4. 113 RPM Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Kontrol Fuzzy-PID .....	110
Gambar 4. 114 Arus Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot Kontrol Fuzzy-PID .....	111
Gambar 4. 115 Tegangan Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot .....	111
Gambar 4. 116 Grafik Percobaan Kontrol Fuzzy PID Setpoint 5,94 knot.....	112
Gambar 4. 117 Grafik RPM Mesin ICE .....	113
Gambar 4. 118 Sudut Throttle Setpoint 5,94 Knot Kontrol Fuzzy PID.....	113
Gambar 4. 119 Grafik Penggunaan Bahan Bakar .....	114
Gambar 4. 120 RPM Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Kontrol Fuzzy PID.....	114
Gambar 4. 121 Arus Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot Kontrol Fuzzy PID .....	115
Gambar 4. 122 Tegangan Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot .....	115
Gambar 4. 123 Perbandingan Kecepatan dengan Setpoint 2,16 Knot .....	117
Gambar 4. 124 Perbandingan RPM Setpoint 2,16 Knot .....	119
Gambar 4. 125 Perbandingan Ampere Setpoint 2,16 Knot.....	121
Gambar 4. 126 Perbandingan Tegangan Setpoint 2,16 Knot.....	122
Gambar 4. 127 Grafik RPM Mesin ICE Setpoint 2,16 Knot .....	123
Gambar 4. 128 Grafik Sudut Throttle Setpoint 2,16 Knot.....	124
Gambar 4. 129 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Setpoint 2,16 Knot .....	124
Gambar 4. 130 Perbandingan Kecepatan Setpoint 2,7 Knot.....	125
Gambar 4. 131 Perbandingan RPM Setpoint 2,7 Knot .....	126
Gambar 4. 132 Perbandingan Arus Setpoint 2,7 Knot.....	127
Gambar 4. 133 Perbandingan Tegangan Setpoint 2,7 Knot.....	129
Gambar 4. 134 RPM Mesin ICE Setpoint 2,7 Knot.....	130
Gambar 4. 135 Sudut Throttle Setpoint 2,7 Knot .....	130
Gambar 4. 136 Konsumsi Bahan Bakar Setpoint 2,7 Knot.....	131
Gambar 4. 137 Perbandingan Kecepatan Setpoint 3,78 Knot.....	132
Gambar 4. 138 Perbandingan RPM Engine Setpoint 3,78 Knot.....	133
Gambar 4. 139 Sudut Throttle Setpoint 3,78 Knot .....	134
Gambar 4. 140 Penggunaan Bahan Bakar Mesin ICE pada Setpoint 3,78 Knot	135
Gambar 4. 141 RPM Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot .....	136
Gambar 4. 142 Arus Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot .....	136
Gambar 4. 143 Tegangan Motor BLDC Setpoint 3,78 Knot .....	137

Gambar 4. 144 Perbandingan Setpoint Kecepatan 4,86 Knot.....	137
Gambar 4. 145 Perbandingan RPM Kecepatan 4,86 Knot .....	139
Gambar 4. 146 Sudut Throttle Setpoint 4,86 Knot .....	140
Gambar 4. 147 Penggunaan Bahan Bakar Mesin ICE Setpoint 4,86 Knot.....	141
Gambar 4. 148 RPM Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot .....	141
Gambar 4. 149 Arus Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot .....	142
Gambar 4. 150 Tegangan Motor BLDC Setpoint 4,86 Knot .....	142
Gambar 4. 151 Perbandingan Kecepatan Setpoint 5,94 Knot.....	143
Gambar 4. 152 Perbandingan RPM Setpoint Kecepatan 5,94 Knot .....	145
Gambar 4. 153 Sudut Throttle Setpoint 5,94 Knot .....	146
Gambar 4. 154 Penggunaan Bahan Bakar Mesin ICE Setpoint 5,94 Knot.....	146
Gambar 4. 155 Arus Motor BLDC Setpoint 5,94 Knot .....	147
Gambar 4. 156 Tegangan Motor BLDC Setpoint 5,94 knot .....	148

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya.....	6
Tabel 3. 1 Tabel Fungsi Keanggotaan .....	31
Tabel 3. 2 Rule base Kp .....	32
Tabel 3. 3 Rule base Ki .....	32
Tabel 3. 4 Rule base Kd .....	32
Tabel 3. 5 Tabel Faktor Distribusi .....	32
Tabel 3. 6 Perancangan Pin .....	37
Tabel 4. 1 Pengujian Mesin ICE .....	43
Tabel 4. 2 Pengujian Electronic Speed Controller .....	45
Tabel 4. 3 Tabel Perbandingan Output ESC .....	46
Tabel 4. 4 Pengujian Sensor Photodioda pada Motor BLDC 1 .....	49
Tabel 4. 5 Tabel Pengujian Motor BLDC 2 .....	49
Tabel 4. 6 Tabel Pengujian Mesin ICE .....	49
Tabel 4. 7 Tabel Pengujian STM32 .....	51
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Sensor Arus .....	55
Tabel 4. 9 Pengujian Sensor Tegangan .....	56
Tabel 4. 10 Data Hasil Percobaan .....	150

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kapal merupakan sarana transportasi pengangkut barang dan penumpang di perairan seperti laut, sungai, danau dan sebagainya. Terdapat banyak jenis kapal yang saat ini digunakan. Salah satunya adalah kapal dengan desain triplehull atau biasa disebut dengan kapal trimaran. Kapal trimaran terdiri dari lambung utama dan dua lambung kecil yang berada pada sisi *main hull* (Naramurti et al., 2016). Kapal trimaran menggunakan tenaga penggerak berupa mesin diesel sebagai tenaga penggerak utamanya.

Namun pada penggunaan mesin diesel terdapat beberapa tantangan berupa efisiensi bahan bakar dan emisi gas buang pada lingkungan. Tingginya jumlah konsumsi bahan bakar fosil menyebabkan semakin tingginya jumlah emisi gas buang pada udara. Meskipun transportasi lain juga sebagian besar menggunakan bahan bakar fosil, namun karena kandungan bahan bakarnya yang berat, jumlah emisi gas buang dalam industri pelayaran cukup signifikan. Emisi gas berbahaya yang bersumber dari kapal sebagian besar disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil (Inal et al., 2022).

Dalam mengatasi hal tersebut, penggunaan sistem propulsi hibrida menjadi salah satu pilihan sebagai penggerak propeler dengan harapan memiliki tenaga yang efisien yang ramah lingkungan. Sistem propulsi hibrida merupakan sebuah perpaduan penggerak kapal antara mesin diesel dan motor induksi (Kurniawan et al., 2024). Dalam penerapan sistem propulsi hibrida, terdapat

beberapa kondisi berlayar seperti pada saat kecepatan tinggi dan pada saat olah gerak dalam kecepatan rendah. Pada saat kapal dalam keadaan kecepatan tinggi, penggunaan mesin diesel akan dikombinasi dengan motor induksi. Sedangkan pada saat kapal mengolah gerak dalam kecepatan rendah, motor induksi digunakan sebagai penggerak. Sehingga nantinya didapatkan efisiensi penggunaan bahan bakar yang baik (Azmi et al., 2020).

Untuk mengatur sistem propulsi tersebut, pemilihan sistem kontrol harus memiliki kemampuan mengatur kestabilan kecepatan dalam keadaan *non-linear* yang disebabkan oleh keadaan gelombang laut yang tidak stabil. Terdapat beberapa sistem metode kontrol yang dapat diterapkan dalam keadaan *non-linear*, seperti metode kontrol *Fuzzy Logic Control*, dimana metode ini biasa digunakan untuk mengontrol sistem *non-linear* dengan pendekatan berbasis aturan linguistik (Yahya et al., 2024). Selanjutnya ada metode *Neural Network Control* dimana metode ini biasa digunakan untuk mengontrol sistem *non-linear* yang kompleks dan sulit dirumuskan secara sistematis (Azmi et al., 2020). Dan untuk metode lain yang biasa digunakan pada sistem *non-linear* adalah metode hibrid kontrol, dimana metode hibrid kontrol merupakan metode kombinasi yang menggabungkan kontrol yang satu dengan kontrol yang lain.

Salah satu metode hibrid kontrol yang bisa digunakan dalam keadaan *non-linear* adalah metode kontrol *Fuzzy-PID*. Kontrol *fuzzy* menyediakan pengontrol *non-linear* yang dapat melakukan tindakan kontrol *non-linear* yang kompleks bahkan untuk jumlah sistem *non-linear* yang tidak terbatas. Sedangkan kontrol *PID* merupakan penggabungan dari kontrol proporsional, integral, dan derivatif yang memiliki keunggulan yaitu dapat mempercepat

respon tanggapan, memperbaiki kesalahan kondisi tunak, dan memprediksi kesalahan yang akan terjadi (Yahya et al., 2024). Metode kontrol PID merupakan metode umpan balik yang bisa digunakan dalam berbagai sistem kontrol dan otomatisasi (Muqorrobin et al., 2024). Kecepatan kapal merupakan sistem *non-linear* yang parameternya berubah-ubah terus menerus tergantung dengan kecepatan *RPM* propeler, kondisi gelombang laut, angin dan hambatan lainnya. Kendali *PID* bekerja dengan baik hanya pada titik-titik tertentu di seluruh rentang operasi. Sehingga metode pengendalian *PID* digunakan sebagai kendali utama, sedangkan kendali logika *fuzzy* digunakan untuk menginterfensi parameter *PID* saat terjadi gangguan.

Berdasarkan teori dan penelitian yang sudah ada sebelumnya, bahwa penelitian sebelumnya membahas tentang sistem putaran dengan menggunakan metode lain yang digunakan, sedangkan yang diteliti peneliti membahas tentang sistem kendali putaran menggunakan metode *Fuzzy-PID*. Maka peneliti tertarik mengambil judul penelitian **Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis *Fuzzy-PID***.

## **B. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka rumusan masalah yang diangkat peneliti yaitu antara lain :

1. Bagaimana perancangan metode *Fuzzy-PID* pada sistem propulsi hibrida *prototype* kapal trimaran.
2. Bagaimana kinerja sistem *Fuzzy-PID* terhadap kondisi gelombang yang berbeda.

### C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan, maka dalam pembahasan karya ilmiah ini peneliti membatasinya dengan membahas hal berikut :

1. Penelitian lebih fokus pada kecepatan *prototype* kapal trimaran dengan sistem propulsi hibrida.
2. Metode kontrol yang digunakan adalah metode *Fuzzy-PID*.
3. Menggunakan mesin ICE Zenoah dan motor BLDC sebagai mesin penggerak.
4. Menggunakan mikrokontroler STM32 dengan data pengujian disimpan pada *Internet Of Things*.
5. Sensor kecepatan putaran menggunakan sensor *Photodiode*.
6. Kecepatan kapal terdiri dari 5 mode kecepatan yang terdiri dari mode pengintaian (2,16 knot), patroli lambat (2,7 knot), patroli cepat (3,78 knot), jelajah (4,86 knot) dan pengejaran (5,94 knot).
7. Hambatan terdiri dari gelombang tenang, sedang dan tinggi.
8. Pengujian pada sungai yang berarus tenang.

### D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan dan batasan masalah di atas, tujuan penelitian karya ilmiah terapan ini adalah :

1. Membuat sistem kontrol kecepatan kapal dengan metode *Fuzzy-PID* pada sistem propulsi hibrida.
2. Menganalisa kinerja sistem kontrol dengan metode *Fuzzy-PID* pada sistem propulsi hibrida.

**E. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk merancang serta mengetahui kinerja sistem kendali kecepatan kapal menggunakan *Fuzzy-PID*.
2. Menjadi referensi penelitian mengenai sistem kontrol kecepatan kapal.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Review Penelitian Sebelumnya

Dalam hal ini, melakukan *review* terhadap penelitian sebelumnya sangat bermanfaat untuk memahami hasil dan perbedaan dari penelitian yang sudah ada. Dengan demikian, peneliti dapat menghindari pengulangan, serta dapat mengembangkan penelitian yang sudah ada, dan memperkaya materi penelitian yang akan diteliti. Oleh karena itu, peneliti sangat membutuhkan data dari memerlukan informasi terdahulu. Di bawah ini adalah tinjauan penelitian sebelumnya yang digunakan dalam penelitian ini, yang tercantum dalam tabel 2.1:

**Tabel 2. 1** Penelitian Sebelumnya  
Sumber : Dokumen Penelitian

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan
1	Suryadhi dan Joko Subur Program Studi Teknik Elektro Universitas Hang Tuah Surabaya Jurnal Zetroem Vol 04. No 02 Tahun (2022) (Subur & Suryadhi, 2022)	PENGATURAN KECEPATAN MOTOR PENGGERAK PROPELER PADA KAPAL MENGUNAKAN METODE <i>PID</i> DAN MA FILTER	Sistem kontrol <i>PID</i> dan MA filter membuat kecepatan laju kapal dapat bekerja dengan baik berdasarkan percobaan yang dilakukan. Namun karena adanya penambahan MA Filter penambahan kecepatan laju kapal sedikit terhambat, sehingga penambahan kecepatan pada kapal meningkat secara lambat.	Pada penelitian sebelumnya menggunakan metode <i>PID</i> dan MA filter, dan mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560 Sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode <i>Fuzzy-PID</i> dan mikontroler STM32 sebagai komunikasinya.

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan
2	Hari Maghfiroh, Musyaffa Ahmad, Agus Ramelan dan Feri Adriyanto Department of Engineering, Universitas Sebelas Maret, Surakarta Journal of Robotics and Control (JRC) Volume 3, Issue 1 2022 (Maghfiroh et al., 2022)	<i>Fuzzy-PID in BLDC Motor Speed Control Using MATLAB/Simulink</i>	Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontrol <i>Fuzzy-PID</i> dapat memberikan kinerja yang lebih baik dan stabil dibandingkan dengan kontrol PI konvensional. Penggunaan kontrol <i>Fuzzy-PID</i> dapat mengurangi fluktuasi kecepatan dan memberikan kestabilan torsi. Dan metode <i>Fuzzy-PID</i> mempunyai waktu pemrosesan yang lebih cepat daripada dengan <i>PID</i> sebesar 6,27%.	Pada penelitian sebelumnya membahas penggunaan metode <i>Fuzzy-PID</i> untuk mengontrol putaran pada mesin BLDC. Sedangkan pada penelitian kali ini membahas tentang penggunaan metode <i>Fuzzy-PID</i> yang diterapkan pada sistem propulsi kapal.
3	Muhammad Azmi Naufal Munif Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2020) (Azmi et al., 2020)	PENGENDALIAN KECEPATAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA PADA MODEL KAPAL TRIMARAN BERBASIS NEURAL NETWORK	Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa pembuatan sistem kontrol kecepatan berbasis <i>NN</i> ini adalah <i>neural network</i> yang telah sesuai dengan data-data pendukung yang ada dibuktikan dengan validasi. Disisi lain, terdapat temuan pada sistem propulsi hibrida yang menunjukkan bahwa penambahan total <i>output</i> power tidak selalu diikuti kenaikan kecepatan model kapal. Pada kecepatan tinggi maupun rendah, <i>Neural Network</i> mampu memberikan respon <i>output</i> yang sesuai dengan prakiraan. Hal ini berdasarkan pada grafik regresi <i>neural network</i> yang menunjukkan nilai $R = 1$ dan nilai mse	Pada penelitian sebelumnya menggunakan metode <i>Neural Network</i> sedangkan pada penelitian ini menggunakan metode <i>Fuzzy-PID</i> . Dan penelitian sebelumnya membahas tentang perbedaan kecepatan ketika menggunakan hibrid propulsi, sedangkan pada penelitian kali ini membahas tentang ketepatan antara kecepatan pada <i>setpoint</i> dan kecepatan pada keadaan sebenarnya.

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan
			sebesar $9.66 \times 10^{-8}$ . Proses validasi neural network yang membandingkan nilai <i>output neural network</i> dengan nilai <i>output</i> yang diprediksi menunjukkan nilai <i>error</i> validasi yang sangat kecil.	

*Review* jurnal pada tabel 2.1 terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian yang diambil, perbedaan pada jurnal 1 dengan judul Pengaturan Kecepatan Motor Penggerak Propeller pada Kapal Menggunakan Metode *PID* dan *MA Filter*, meneliti tentang sistem penggerak propeler yang digantikan dengan motor listrik. Dimana kontrol yang digunakan untuk mengatur kecepatan laju kapal yang dikehendaki menggunakan metode *PID* dan *MA Filter*. Perbedann jurnal 1 ini terletak pada metode yang digunakan. Untuk peneliti menggunakan metode *Fuzzy-PID* dan untuk penggerak kapal menggunakan sistem hibrid antara mesin *ICE* dan motor *BLDC*.

Perbedaan pada jurnal ke 2 *Fuzzy-PID in BLDC Motor Speed Control Using MATLAB/Simulink*. Penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy-PID* yang disimulasikan menggunakan aplikasi Matlab/Simulink untuk mengetahui kinerja dari kontrol yang digunakan terhadap respon pada motor *BLDC*. Hasil dari penelitian ini adalah metode kontrol *Fuzzy-PID* yang berhasil menstabilkan kinerja kecepatan pada motor *BLDC* dan dapat mngurangi fluktuasi kecepatan dan memberikan stabilitas torsi yang baik. Perbedaan ini terdapat pada penerapan metode *Fuzzy-PID*, pada penelitian jurnal ini diterapkan pada motor

*BLDC*, sedangkan pada penelitian kalin ini digunakan untuk menstabilkan kecepatan *prototype* kapal trimaran.

Perbedaan pada artikel ke 3 dengan judul Pengendalian Kecepatan Sistem Propulsi Hibrida pada Model Kapal Trimaran Berbasis *Neural Network*. Penelitian ini menggunakan metode *Neural Network*. Pada penelitian ini pengujian sistem *Neural Network* menggunakan program matlab untuk mengetahui performa dan nilai *error* pada *output Neural Network* saat diberikan nilai *input* tertentu. Perbedaan ini terletak pada metode yang digunakan dan pengambilan data. Untuk penggunaan metode peneliti kali ini menggunakan metode *Fuzzy-PID*, dan penelitian sebelumnya membahas tentang perbedaan kecepatan kapal ketika menggunakan hibrid propulsion, sedangkan pada penelitian kali ini membahas tentang penggunaan metode *Fuzzy-PID* terhadap *setpoint* kecepatan kapal dan kecepatan pada keadaan sebenarnya.

## **B. Landasan Teori**

Pada penelitian kali ini melibatkan beberapa elemen terpisah yang akan menjadi satu sistem dengan fungsi sesuai dengan yang diinginkan. Pada penelitian ini, peneliti menyiapkan desain alat atau sistem untuk pengoperasian dalam pengendalian kecepatan dengan menggunakan metode *fuzzy-PID*. Adapun dasar teori yang digunakan yaitu Kapal Trimaran, sistem propulsi hibrida, mesin otto, motor BLDC, sensor *photodiode*, *pixhawk*, STM32, *Transistor-Transistor Logic for RS, Electronic Speed Control*, teori *Fuzzy*, teori *PID*, *Fuzzy-PID*.

## 1. Kapal Trimaran

Kapal trimaran merupakan sebuah kapal yang memiliki tiga lambung yang terdiri dari lambung utama yang biasa disebut dengan vaka dan dua lambung yang lebih kecil di samping yang biasa disebut dengan ama (Naramurti et al., 2016). Pada gambar 2.1 menunjukkan gambaran dari kapal trimaran. Kapal trimaran memiliki keunggulan sendiri berupa stabilitas yang baik daripada kapal *monohull* (kapal dengan satu lambung). Dan kapal trimaran juga mampu berlayar di perairan yang dangkal dengan propulsi yang lebih tinggi. Kapal trimaran dilengkapi dengan dua atau lebih mesin utama.

Penggunaan beberapa mesin dapat meningkatkan efisiensi dan keakuratan. Dengan adanya beberapa mesin, kapal memiliki tingkat redundansi yang lebih tinggi, artinya jika salah satu mesin mengalami kerusakan atau gangguan, kapal masih dapat beroperasi menggunakan mesin lainnya.



**Gambar 2. 1** Kapal Trimaran

Sumber:<https://robbreport.com/motors/marine/vplp-new-trimaran-seaffinity-details-1234639982/>

## 2. Mesin Otto

Mesin otto atau mesin bensin merupakan salah satu mesin penggerak dalam dunia otomotif (Gaol, 2020). Mesin otto merupakan salah satu jenis mesin dengan metode pembakaran dalam atau biasa disebut dengan *Internal Combustion Engine (ICE)*. Mesin otto menggunakan busi untuk memulai proses pembakaran, sedangkan pada mesin diesel menggunakan kompresi udara dalam ruang bakar sehingga udara memanas. Dalam siklus otto yang ideal, pembakaran diasumsikan terjadi dengan pemasukan panas pada volume yang konstan. Gambar 2.2 menunjukkan salah satu jenis motor otto.

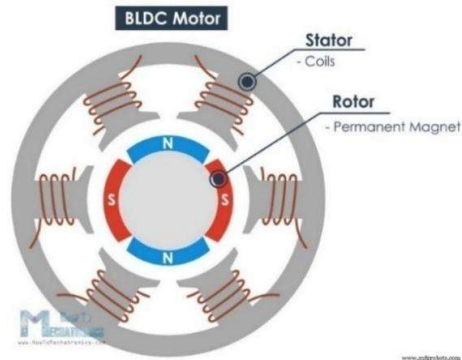


**Gambar 2. 2** Motor Otto Zenoah G260RC

Sumber : <http://www.dmracing.fr/Zenoah-G260RC>

## 3. Motor Brushless Direct Current (BLDC)

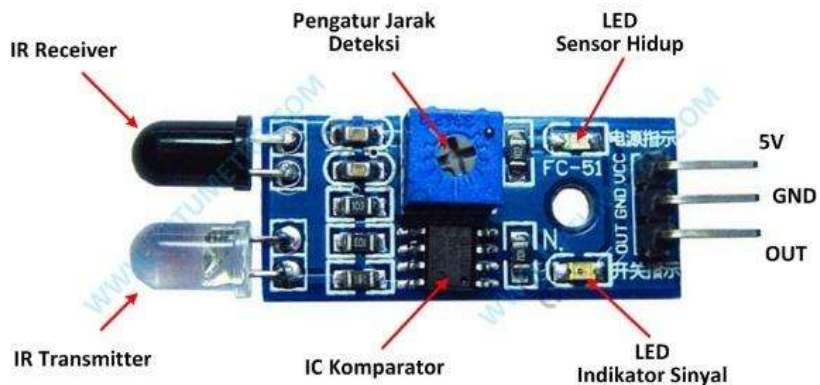
Motor BLDC bekerja dengan prinsip gaya tarik antara dua magnet yang berlainan kutub atau gaya tolak antara dua magnet dengan kutub yang sama, rotor pada motor BLDC tersusun dari magnet permanen sehingga kutubnya tetap sedangkan stator terbuat dari belitan sehingga kutub magnet tersebut dapat berubah tergantung polaritas arus belitan stator yang diberikan (Akbar & Riyadi, 2019). Ilustrasi rotor dan stator pada motor BLDC bisa dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Ilustrasi magnet permanent pada motor BLDC  
 Sumber : <https://id.mfgrobots.com/mfg/it/1006020702.html>

#### 4. Sensor Photodioda

Sensor *photodioda* merupakan salah satu sensor yang digunakan untuk mendeteksi cahaya dan pergerakan suatu benda (Kusuma et al., 2015). Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan sinar inframerah. Sensor photodioda bekerja dengan mengalirkan arus listrik satu arah menuju sisi lain ketika menyerap atau menangkap cahaya. Pada gambar 2.4 merupakan salah satu jenis dari sensor *Optocoupler* yang biasa disebut dengan sensor *Photodioda*.



**Gambar 2. 4** Sensor Photodioda

Sumber : [https://www.tptumetro.com/2021/01/cara-kerja-modul-infrared-fc-51-sensor.html#google\\_vignette](https://www.tptumetro.com/2021/01/cara-kerja-modul-infrared-fc-51-sensor.html#google_vignette)

## 5. Pixhawk

*Pixhawk* merupakan sistem *autopilot open-source* yang dirancang untuk berbagai aplikasi kendaraan tanpa awak, seperti pesawat terbang tanpa awak, kendaraan darat atau bahkan kapal tanpa awak (Broto, 2023).

*Pixhawk* memiliki komponen utama berupa prosesor, memori, dan sensor.



**Gambar 2.5** *Pixhawk*

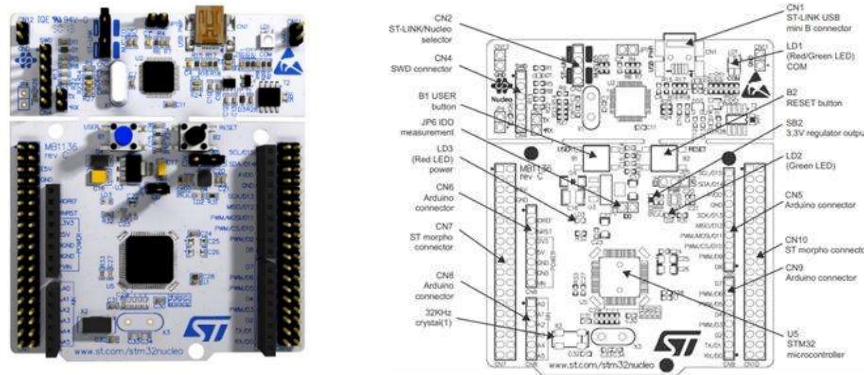
Sumber : <https://agri.terra-drone.co.id/7-komponen-utama-drone-sprayer-dan-fungsinya/>

Prosesor digunakan untuk menjalankan intruksi program yang digunakan. Memori digunakan untuk menyimpan data dan kode program. Terdapat dua jenis memori pada *pixhawk*, yaitu Random Access Memory (RAM) yang digunakan untuk menyimpan data sementara, dan flash memory yang bisa digunakan untuk menyimpan kode dan program secara permanen. Sensor yang terdapat pada *pixhawk* antaranya adalah Internal Measurement Unit (IMU), barometer, Global Position System (GPS) dan sistem ultrasonik. Pada gambar 2.5 yang menunjukkan sebuah *pixhawk* dan komponen-komponen yang ada pada *pixhawk*.

## 6. STM32

STM32 merupakan keluarga mikrokontroler 32-bit yang diproduksi oleh *STMicroelectronics* (Eka Maulana & Nurpulaela, 2024). Mikrokontroler ini dirancang khusus untuk mendukung berbagai jenis aplikasi, termasuk *Cortex-A* yang digunakan untuk aplikasi umum dengan kinerja tinggi, *Cortex-M* yang cocok untuk sistem tertanam dengan kebutuhan daya rendah, dan *Cortex-R* yang ditujukan untuk aplikasi real-time dengan kebutuhan respons cepat. Dibandingkan dengan platform populer seperti Arduino, STM32 menawarkan keunggulan signifikan dalam hal kinerja, berkat kombinasi arsitektur yang luar biasa dan periferal berkualitas tinggi.

STM32 menggunakan arsitektur Harvard, yang memisahkan jalur memori program dan memori data. Pendekatan ini memungkinkan akses simultan terhadap kedua jenis memori, sehingga mengoptimalkan kecepatan pemrosesan dan meningkatkan efisiensi keseluruhan. Dengan desain ini, STM32 tidak hanya memberikan kinerja yang andal, tetapi juga mendukung aplikasi yang memerlukan pengolahan data secara cepat dan presisi tinggi, seperti sistem kendali, pengolahan sinyal digital, dan perangkat IoT. Gambar 2.6 menunjukkan sebuah mikrokontroler STM32 dengan jenis STM32 Nucleo.

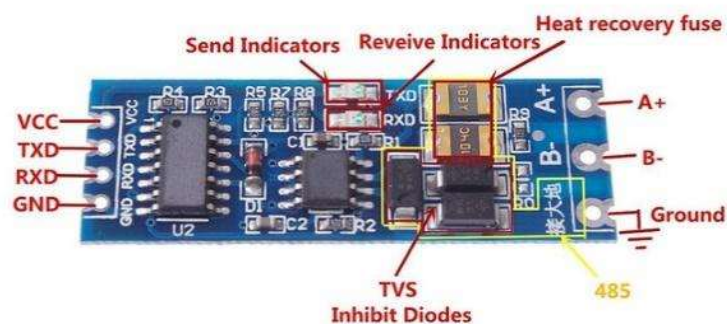


**Gambar 2. 6** Board dan pin STM32

Sumber : <https://components101.com/microcontrollers/stm32-nucleo-f401re-pinout-datasheet>

## 7. Transistor-Transistor Logic for RS

Perangkat *Universal Serial Bus to Transistor-Transistor Logic* merupakan salah satu jenis kabel konverter yang berfungsi untuk mengubah data dari usb ke serial. Kabel ini memungkinkan pengguna dapat menghubungkan perangkat mikrokontroler agar dapat berkomunikasi. *USB to TTL* memiliki *output* berupa *Vcc*, *transmitter*, *receiver*, dan *ground*. Gambar 2.7 memperlihatkan gambaran dari sebuah komponen *Transistor-Transistor Logic*.



**Gambar 2. 7** *Transistor-Transistor Logic*

Sumber : <https://forum.arduino.cc/t/uart-ttl-to-rs485-two-way-converter-module-nodemcu/1079783>

## 8. *Electronic Speed Controller*

*Electronic Speed Controller* merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan putaran motor dengan mengontrol tegangan atau arus yang dialirkan ke motor (Lorenza, 2019). Cara kerja ESC dimulai dengan menerima sinyal dari pengendali (transmitter), seperti perangkat remote control atau unit pemrosesan lainnya. Sinyal ini kemudian diterjemahkan menjadi perintah untuk mengubah kecepatan putaran motor. Proses ini dilakukan dengan menggunakan teknik modulasi, seperti PWM (Pulse Width Modulation), untuk menentukan besarnya daya yang dialirkan ke motor. Dengan cara ini, ESC tidak hanya mengatur kecepatan, tetapi juga dapat mengontrol arah putaran motor (pada motor tertentu) dan memberikan perlindungan terhadap kondisi berbahaya, seperti kelebihan arus atau suhu berlebih.

Teknologi yang diadopsi oleh ESC memastikan motor beroperasi secara efisien dan responsif, sehingga cocok digunakan dalam berbagai skenario yang membutuhkan pengendalian dinamis dan akurat. Gambar 2.8 menunjukkan sebuah komponen ESC.



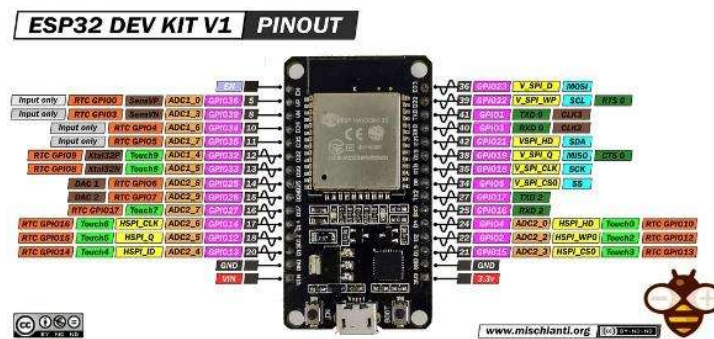
**Gambar 2. 8** *Electronic Speed Controller*

Sumber : <https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/what-is-an-esc-how-does-an-esc-work>

## 9. ESP32

ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler Espressif Systems yang merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266, yang memiliki peningkatan signifikan dari sisi fitur dan performa (Kusumo & Ardiansyah, 2024). Salah satu keunggulan utama dari ESP32 adalah dapat mengintegrasikan modul Wi-Fi dan Bluetooth dalam satu chip yang memudahkan pembuatan sistem IoT yang memerlukan koneksi nirkabel.

Dibandingkan dengan ESP8266, ESP32 memiliki prosesor dual-core, kecepatan clock yang tinggi, serta lebih banyak GPIO yang dapat digunakan.



**Gambar 2. 9** ESP32

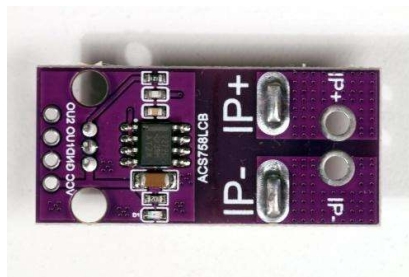
Sumber : <https://medium.com/@priscillanapitupuluu/project-2-embedded-system-75458b742433>

## 10. Sensor Arus ACS758

Sensor ACS758 merupakan sensor yang dirancang untuk mengukur arus listrik searah maupun bolak balik dengan menggunakan prinsip Hall Effect (Rianto & Kusanti, 2023). Dimana Hall Effect bekerja dengan memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui jalur konduktor tembaga. Medan magnet ini kemudian

diubah menjadi sinyal tegangan yang sebanding dengan nilai arus yang dihasilkan.

Pada penelitian yang dilakukan kali ini sensor arus ACS758 digunakan untuk mengetahui arus yang mengalir ke motor BLDC. Nilai keluaran dari sensor arus ini kemudian masuk pada mikrokontroler yang nantinya akan diproses pada mikrokontroler. Mikrokontroler akan memproses data dari sensor dan mengontrol dan memonitor arus yang mengalir pada motor BLDC.

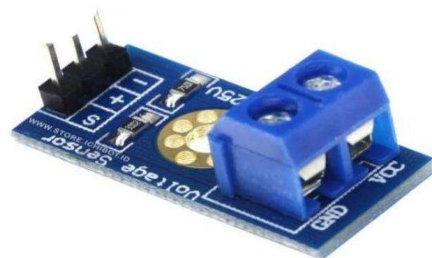


**Gambar 2. 10** Sensor ACS758

Sumber : <https://images.app.goo.gl/HeAbZ2BZMoidNaeA9>

## 11. Sensor Tegangan

Rangkaian sensor tegangan memiliki prinsip menagmbil sampel tegangan yang mengalir pada rangkaian motor BLDC (Wilutomo & Yuwono, 2017). Sensor tegangan bekerja dengan dihubungkan secara paralel pada komponen yang masuk pada motor BLDC.



**Gambar 2. 11** Sensor Tegangan

Sumber : <https://images.app.goo.gl/u9LP6tRU9L4h1zDe7>

## 12. Sensor Flowmeter

Flowmeter elektromagnetik juga dikenal dengan flowmeter magnetik. Ketika cairan mengalir melalui pipa transduser, cairan tersebut bertindak sebagai konduktor yang memutus medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan magnet dan transduser (Sandi et al., 2022). Sensor flowmeter terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu katup yang terbuat dari kuningan, rotor air, dan sensor hall effect. Ketika arus listrik mengalir melalui sensor hall effect yang ditempatkan pada medan magnet yang tegak lurus dengan arus listrik, maka gerakan partikel bermuatan akan dibelokkan ke satu sisi. Hal ini menciptakan medan listrik.



**Gambar 2. 12** Sensor Flowmeter

Sumber : <https://images.app.goo.gl/tW2tZifisqJTMc6c7>

Pada penelitian kali ini, sensor flowmeter digunakan sebagai penghitung jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin ICE. Sehingga pemakaian bahan bakar pada saat penelitian dapat diketahui.

## 13. Baterai Li-Po

Baterai merupakan sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik (Lamablawa & Aritonang, 2022). Baterai lithium Polymer (Li-Po) hampir sama dengan baterai lithium-ion, tetapi baterai Li-

Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolitnya, melainkan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan tipis film plastik. Pada penelitian kali ini baterai Li-Po digunakan sebagai sumber utama pada penggerak motor BLDC dan komponen mikrokontroler serta komponen pembantu seperti mesin pendingin dan lainnya.



**Gambar 2. 13** Baterai Li-Po

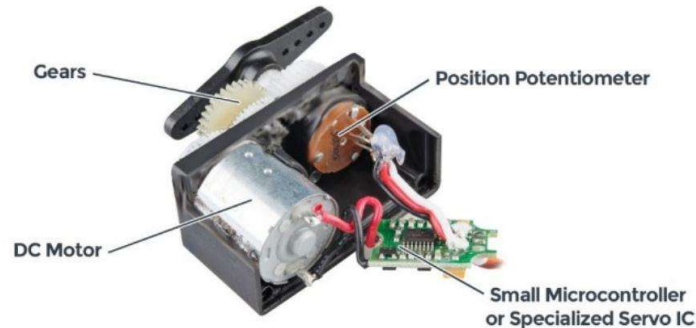
Sumber : <https://images.app.goo.gl/3fGRHvbVmaJyQ3iV9>

#### 14. Motor Servo

Motor servo merupakan jenis motor DC yang dilengkapi dengan rangkaian kendali berbasis sistem closed-loop yang telah terintegrasi di dalamnya (Raflianto & Sasmoko, 2015). Pada motor servo posisi putaran poros (axis) akan terus menerus diinformasikan kembali ke rangkaian pengendali internal melalui sinyal umpan balik. Komponen utama dalam motor servo meliputi motor DC, gearbox, potensiometer atau variabel resistor serta rangkaian kontrol elektronik.

Pada penelitian kali ini motor servo digunakan sebagai penarik throttle pada mesin ICE. Pemanfaatan motor servo memungkinkan untuk melakukan pengaturan bukaan throttle sesuai dengan sinyal kendali yang diberikan. Melalui sistem kendali yang terprogram, motor servo dapat mengatur posisi throttle secara bertahap atau sesuai kebutuhan pengujian,

sehingga misulasi terhadap beban atau respon sistem dapat dilakukan secara konsisten dan terkontrol.



**Gambar 2. 14** Motor Servo

Sumber : <https://images.app.goo.gl/uKiLpmG2j6yYdGWt9>

## 15. Sistem Propulsi Hibrida

Sistem propulsi hibrida merupakan penggabungan antara dua atau lebih sumber tenaga untuk menggerakkan sebuah kapal (Inal et al., 2022). Adanya sistem propulsi hibrida adalah bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi emisi, dan memberikan fleksibilitas dalam operasional kapal. Sistem propulsi hibrida dapat diklasifikasikan dalam tiga konfigurasi berbeda tergantung pada distribusi energi ke propeler, yaitu sistem konfigurasi seri, paralel dan gabungan seri-paralel.

### a. Sistem seri

Pada sistem ini motor diesel tidak langsung menggerakkan propeler. Namun mesin diesel digunakan sebagai penghasil listrik yang kemudian disimpan di baterai atau langsung digunakan untuk menggerakkan motor listrik.

### b. Sistem paralel

Pada sistem ini motor diesel dan motor listrik dapat bekerja bersama untuk menggerakkan propeler. Pada sistem ini memungkinkan

efisiensi bahan bakar yang lebih baik karena kedua sumber daya dapat digunakan secara bersamaan atau terpisah.

c. Sistem seri-paralel

Sistem ini merupakan kombinasi antara kedua sistem seri dan paralel. Dimana kendaraan dapat beroperasi any dengan motor listrik, motor diesel atau kombinasi dari keduanya tergantung pada kondisi operasional.

## 16. Metode Logika Fuzzy

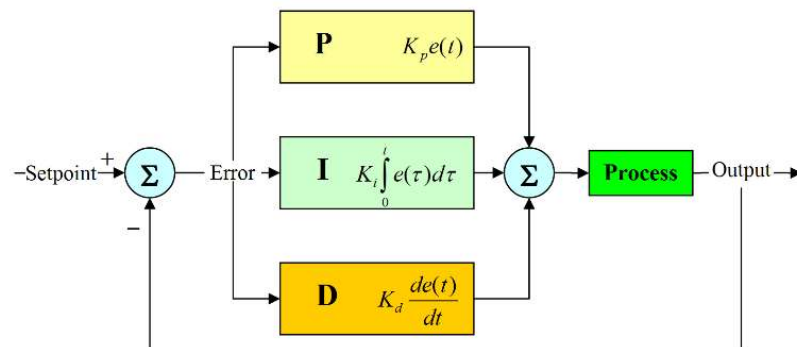
Logika *fuzzy* dinyatakan sebagai cara tepat untuk menentukan suatu ruang *input* ke dalam ruang *output* (Kusumadewi & Purnomo, 2010). Ada beberapa alasan logika *fuzzy* sering digunakan, diantaranya adalah karena memiliki konsep logika yang mudah dipahami, fleksibel, mampu memodelkan fungsi *non-linear* yang kompleks, membangun dan menerapkan pengalaman pakar secara langsung serta bekerja dengan teknik kendali secara konvensional yang didasarkan pada bahasa alami.

Pada logika fuzzy, terdapat 2 jenis himpunan, yaitu himpunan *crisp* (tegas) dan himpunan *fuzzy* (samar). Himpunan *crisp* atau himpunan tegas merupakan himpunan yang hanya memiliki 2 nilai keanggotaan, yaitu nilai 0 dan 1. Sedangkan himpunan *fuzzy* merupakan himpunan yang memiliki cakupan nilai keanggotaan yang berada pada rentang antara 0 sampai 1.

## 17. Sistem Kontrol PID

Kontrol *Proportional Integral Derivative* berfungsi untuk meminimalkan kesalahan dengan menyesuaikan *input* dalam proses kontrol (Rusimamto et al., 2018). Kontrol *PID* adalah metode kontrol umpan balik

yang digunakan dalam berbagai sistem otomatisasi dan kontrol. Kontrol ini melibatkan pengaturan komponen fisik yang dihubungkan secara terstruktur untuk mengendalikan suatu situasi menuju keadaan yang diinginkan. Tiga komponen utama sistem ini adalah *input*, proses dan *output*. Sistem kontrol terdiri dari sistem kontrol loop terbuka (*open loop*) dan loop tertutup (*close loop*). Pada dasarnya sistem kontrol merupakan proses pengaturan atau pengendalian suatu variabel atau parameter sehingga memiliki nilai tertentu dalam kisaran nilai tertentu.



**Gambar 2. 15** Kontrol *PID*

Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/PID>

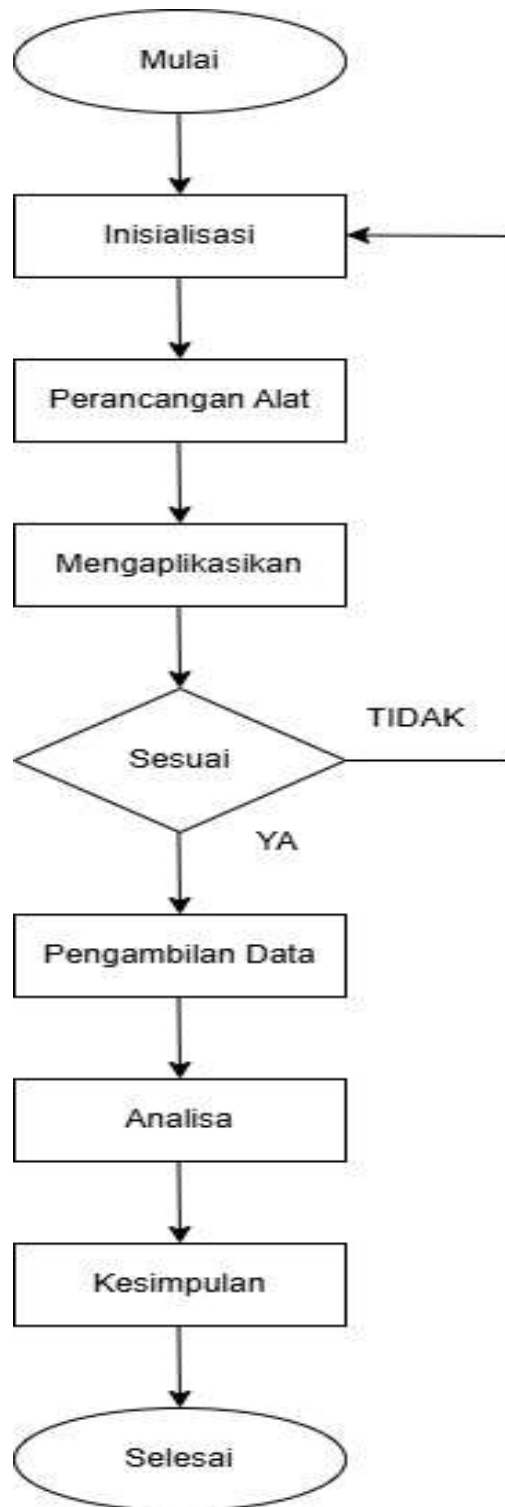
Sistem *PID* mempunyai kemampuan untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi operasional. Kontrol *PID* memiliki konstanta pengontrol berupa proporsional, integral dan derivatif. Kontrol *Proporsional* (P) dapat mengurangi waktu naik, namun meningkatkan *overshoot*, dan mengurangi kesalahan *steady state*. Kontrol *Integral* (I) memiliki kemampuan untuk mengurangi waktu naik, meningkatkan *overshoot*, dan menghilangkan kesalahan *steady state*. Sedangkan kontrol *Derivatif* (D) dapat mengurangi *overshoot* dan mengurangi waktu penyelesaian. Gambar 2.9 menunjukkan sebuah proses dari sistem kontrol *PID*.

## 18. Sistem Kontrol Fuzzy-PID

Sistem *Fuzzy-PID* mengintegrasikan logika *fuzzy* dengan kontroler *PID* untuk meningkatkan performa pengendalian. Dalam sistem ini, logika *fuzzy* digunakan untuk menyesuaikan parameter *PID* ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) berdasarkan kondisi sistem saat ini, seperti kesalahan dan perubahan pada kesalahan (Subur et al., 2023). Implementasi *Fuzzy-PID* melibatkan pembuatan aturan *fuzzy* yang sesuai dengan karakteristik sistem yang dikendalikan. Misalnya jika terjadi *overshoot*, maka nilai  $K_d$  dapat ditingkatkan untuk meredam respons (Akbar & Riyadi, 2019).

### C. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir disusun guna menganalisa permasalahan yang dibahas dalam penelitian dan mempermudah dalam pemaparan secara lebih merinci. Peneliti akan menyajikan algoritma penelitian dalam bentuk gambar berupa kerangka berfikir.



**Gambar 2. 16** Kerangka Berfikir  
Sumber : Dokumentasi Pibadi

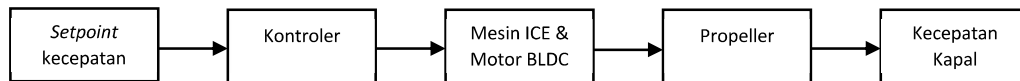
### BAB III

## METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode dan alur penelitian. Alur penelitian yang dijelaskan pada bab ini disertai perancangan sistem, perancangan alat, serta rencana pengujian yang dijelaskan secara rinci, sistematis, danurut sesuai dengan langkah yang telah ditentukan dalam bentuk narasi. Dalam penyusunan karya ilmiah terapan ini, peneliti menggunakan metode penelitian eksperimen.

#### A. Perancangan Sistem

Kerangka perancangan sistem dapat dilihat pada diagram dibawah ini.



**Gambar 3. 1** Blok Diagram Perancangan Sistem

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada gambar 3.1 menunjukkan diagram blok dengan tahapan yang pertama dilakukan adalah mengatur *handle* kecepatan, dimana target kecepatan kapal dimasukkan ke dalam sistem. Selanjutnya sinyal dari *input* tadi diproses oleh kontroler. Dan pada kontroler akan diproses untuk mengoptimalkan kecepatan sesuai dengan *handle* kecepatan yang sudah ditentukan. Kemudian kontroler akan memerintahkan sistem penggerak berupa mesin ICE dan motor BLDC bekerja untuk menghasilkan gaya dorong sesuai dengan *input* awal. Dengan mekanisme ini, sistem pengendalian mampu menyesuaikan kecepatan kapal secara otomatis untuk menjaga akurasi kecepatan. *Input* pada *handle* kecepatan juga akan mempengaruhi penggunaan antara motor BLDC atau mesin ICE. Ada 5 mode yang terdiri dari 3 kecepatan yang terbagi diantaranya lambat yang terdiri dari mode pengintaian dan patroli lambat, mode sedang yang

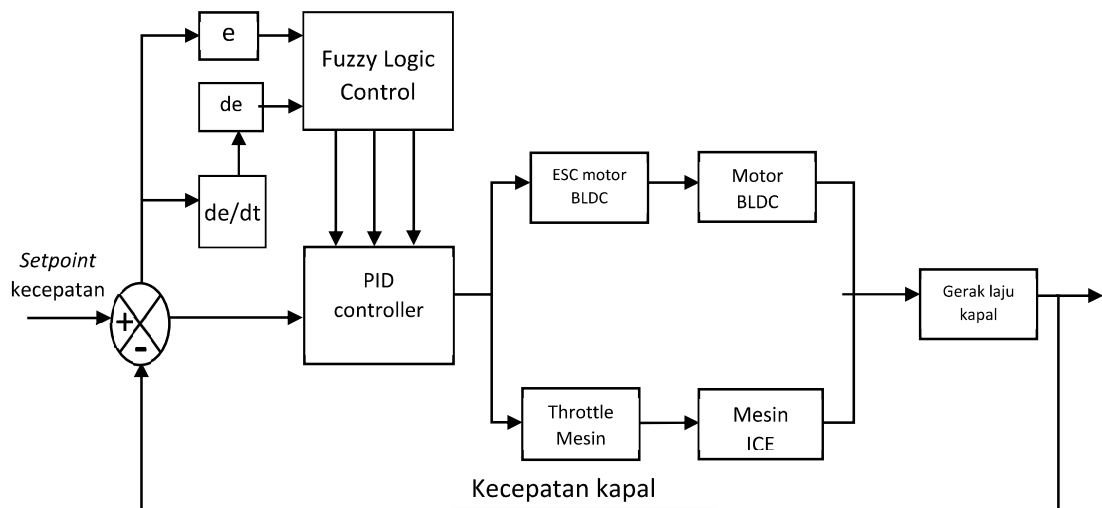
terdiri dari patroli cepat dan jelajah serta mode cepat yang terdiri dari mode pengejaran.

Ketika *input handle* kecepatan pada mode lambat yang berarti berada pada mode pengintaian dan patroli lambat, kontroller akan memerintahkan motor BLDC untuk berputar sehingga dapat mencapai kecepatan sesuai dengan kecepatan pada *input* yang diinginkan. Sedangkan ketika *input handle* kecepatan pada mode sedang yang berarti kecepatan akan berada pada mode patroli cepat dan jelajah sehingga, kontroler akan memerintahkan mesin ICE untuk berputar sesuai dengan kecepatan RPM dan kecepatan laju yang diinginkan. Namun apabila pada mode kecepatan sedang terjadi hambatan yang mempengaruhi kecepatan kapal, maka kontroler akan memerintahkan motor BLDC untuk berputar agar kecepatan pada kapal dan *setpoint* yang diberikan tetap sama. Sedangkan ketika *setpoint* pada *handle* berada pada mode cepat dimana akan berada pada mode pengejaran, kontroler akan memerintahkan motor BLDC dan mesin ICE berputar secara bersama-sama untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan.

## **B. Perancangan Alat**

Perancangan alat merupakan tahap merancang alat, mulai dari mengetahui alat dan bahan serta gambaran terhadap alat yang akan dibuat. Berikut ini merupakan skema perancangan alat pada perancangan sistem kontrol kecepatan kapal dengan sistem propulsi hibrida berbasis *fuzzy-PID*, setiap komponen akan memainkan peran penting dalam memastikan kecepatan pada kapal dengan baik. Diagram perancangan alat dapat dilihat di gambar 3.2.

## 1. Blok Diagram



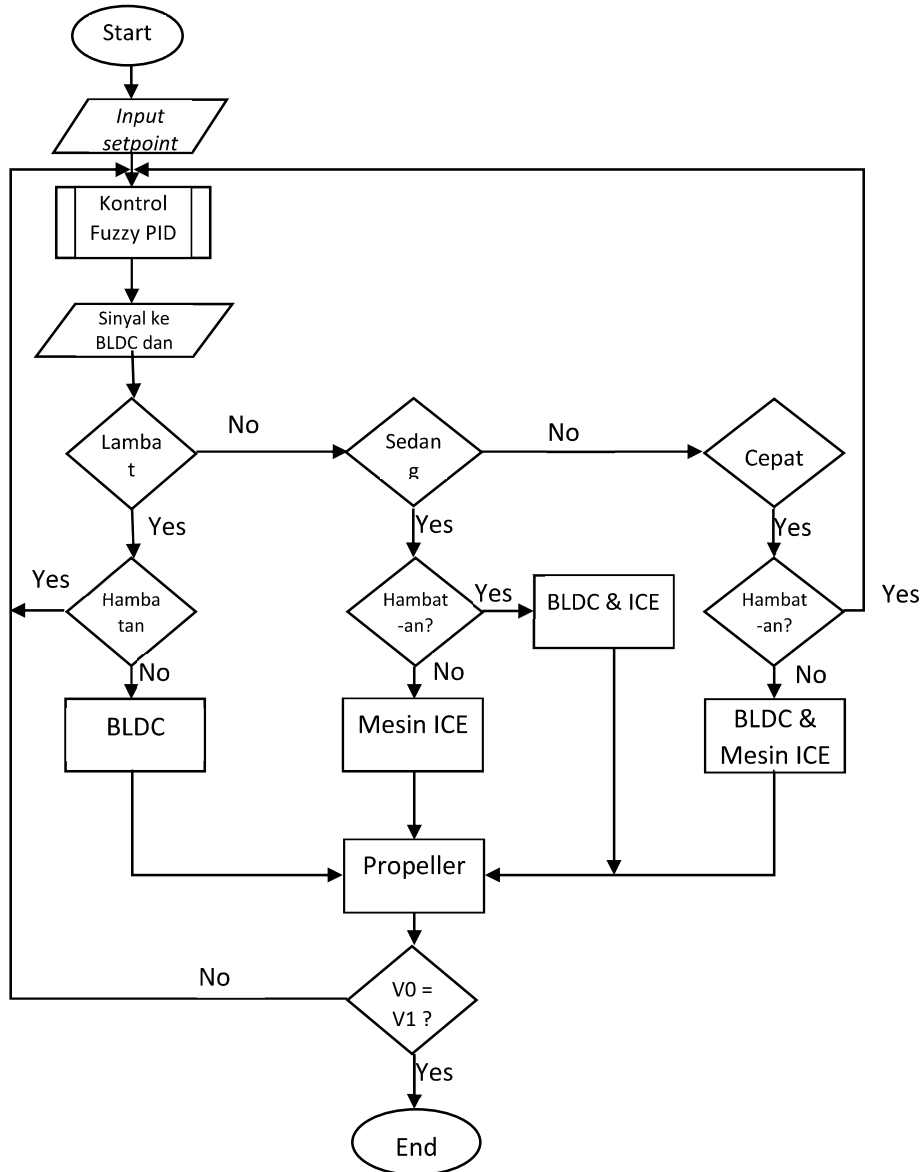
**Gambar 3. 2** Diagram Perancangan Alat  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Berikut adalah penjelasan rinci bagaimana komponen-komponen bekerja untuk mendukung fungsi dari perancangan sistem kontrol kecepatan kapal dengan sistem propulsi hibrida berbasis *Fuzzy-PID* :

- a. *Setpoint* kecepatan: *setpoint* kecepatan kapal yang diinginkan. Digunakan sebagai nilai acuan yang akan diproses sesuai dengan keinginan berdasarkan kecepatan yang diinginkan.
- b. Kontroler *Fuzzy* : untuk mengontrol selisih antara *setpoint* dengan kecepatan aktual pada kapal sehingga dapat menyesuaikan nilai PID.
- c. Kontroler *PID* : untuk mengoptimalkan stabilitas dan respons. Serta mengurangi nilai *error steady-state* (selisih antara nilai aktual dengan *setpoint*).
- d. Driver motor (ESC) : digunakan untuk mengendalikan motor BLDC yang berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler atau sistem kendali dengan motor.

- e. Penggerak propeler : Berfungsi untuk menggerakkan propeler, sehingga akan menghasilkan sebuah putaran pada propeler yang digunakan sebagai penggerak pada kapal.
- f. Gerak laju kapal : merupakan kecepatan perpindahan kapal perwaktu.

## 2. Flowchart



**Gambar 3.3** *Flowchart*  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

*Flowchart* pada gambar 3.3, dimana alur kerja dimulai dengan mengontrol *setpoint* kecepatan putaran menggunakan tuas *handle* kecepatan guna mengatur kecepatan kapal yang diinginkan. Kemudian motor akan berputar sesuai dengan *input* kecepatan yang diinginkan dan sensor *RPM* membaca nilai *RPM* sehingga mendapatkan *input* baru berupa nilai *error*. Selanjutnya nilai *error* menjadi parameter untuk *input* sistem pada logika *fuzzy*. Dimana hasil dari logika *fuzzy* menghasilkan nilai utama dalam parameter kontrol *PID* yang secara otomatis akan disesuaikan secara dinamis menentukan nilai  $K_i$ ,  $K_d$  pada kontroller *PID* dan juga nilai  $K_p$  pada logika *fuzzy*. Kemudian untuk nilai hasil dari kontroller akan diteruskan melalui sinyal kontrol menuju ke mesin ICE atau motor BLDC dan menghasilkan sebuah kecepatan putaran. Putaran yang dihasilkan oleh motor BLDC dan mesin ICE akan menghasilkan sebuah dorongan pada kapal sehingga kapal akan bergerak dengan kecepatan sesuai dengan *setpoint* yang dimasukkan.

a. Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy-PID

1) Kontrol PID

Sistem kontrol PID terdiri dari 3 jenis kontroler yaitu P (Proporsional) yang memvariasikan penguatan overshoot untuk mencapai titik setel yang ditentukan. Kontrol I (Integral) berfungsi untuk mengurangi atau meredam peningkatan perubahan proporsional setelah *setpoint* tercapai. Kontrol D (Derivatif) berfungsi untuk mengurangi atau meningkatkan penguatan untuk

mendekati *setpoint*. Setelah sistem mencapai kondisi tunak, sistem akan berusaha mempertahankan kondisi stabil.

## 2) Kontrol Fuzzy

Sistem fuzzy memiliki *input* utama yaitu error kecepatan yang terdiri dari selisih antara *input* kecepatan dan kecepatan sesungguhnya berdasarkan GPS pada pixhawk. Rentang error yang digunakan adalah antara -5km/jam sampai +5km/jam.

### a) Fuzzyfikasi - Fungsi Keanggotaan

Proses *fuzzyfikasi* menghubungkan antara *output* dengan *input* sari suatu himpunan fungsi keanggotaan dengan mengikuti aturan-aturan dasar dari *fuzzy logic*.

**Tabel 3. 1** Tabel Fungsi Keanggotaan

Sumber : Dokumen Penelitian

Nama	Simbol	Range (km/jam)	Tipe Kurva	Parameter
<i>Negative Large</i>	NL	$\leq -1.0$	Trapesium	$(-\infty, -\infty, -5.0, -1.0)$
<i>Negative Small</i>	NS	-5.0 s.d 0.0	Segitiga	$(-1.0, 0.0, +1.0)$
<i>Zero</i>	ZE	-1.0 s.d +1.0	Segitiga	$(-1.0, 0.0, +1.0)$
<i>Positive Small</i>	PS	0.0 s.d + 5.0	Segitiga	$(0.0, +1.0, +5.0)$
<i>Positive Large</i>	PL	$\geq +1.0$	Trapesium	$(+1.0, +5.0, +\infty, +\infty)$

### b) Rule base

*Rule base* ditentukan berdasarkan interaksi error dan delta error dengan variabel keluaran Kp, Ki dan Kd. Penentuan *rule base* dilakukan bergantung pada fungsi setiap konstanta PID yang memiliki fungsi berbeda.

**Tabel 3. 2 Rule base Kp**

Sumber : Dokumen Penelitian

$\Delta e/e$	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	PL	PL	PS	ZE	ZE
NS	PL	PS	PS	ZE	NS
ZE	PS	PS	ZE	NS	NS
PS	Z	ZE	NS	NS	NL
PL	Z	NS	NS	NL	NL

**Tabel 3. 3 Rule base Ki**

Sumber : Dokumen Penelitian

$\Delta e/e$	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	ZE	NS	NS	NS	NL
NS	PS	ZE	NS	NL	NL
ZE	PS	PS	PB	PS	PS
PS	NL	NS	NS	ZE	ZE
PL	NL	NL	NS	ZE	ZE

**Tabel 3. 4 Rule base Kd**

Sumber : Dokumen Penelitian

$\Delta e/e$	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	NL	NL	NS	ZE	PS
NS	NL	NS	ZE	PS	NL
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	NS
PS	PS	PL	ZE	NS	NL
PL	PL	PL	PS	NS	NL

## c) Koordinasi Multi-Motor

Koordinasi multi-motor merupakan proses pengendalian motor secara bersamaan agar bekerja selaras untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Adapun faktor distribusi pengaturan RPM ada pada tabel berikut.

**Tabel 3. 5 Tabel Faktor Distribusi**

Sumber : Dokumen Penelitian

Motor	Penyesuaian Faktor	Keterangan
Motor BLDC 1	100%	Penyesuaian sepenuhnya untuk respon cepat

<b>Motor</b>	<b>Penyesuaian Faktor</b>	<b>Keterangan</b>
Motor BLDC 2	100%	Penyesuaian sepenuhnya untuk respon cepat
Mesin ICE	75%	Penyesuaian dengan pengurangan untuk menjaga stabilitas

Berdasarkan tabel 3.5 didapatkan persamaan faktor distribusi.

Target RPM 1 & 2 = Target sebelumnya + (RPM penyesuaian x 1.0)

Target RPM 3 = Target sebelumnya + (RPM penyesuaian x 0.75)

*d) Defuzzifikasi*

Untuk mengubah hasil dari proses inferensi fuzzy menjadi nilai keluaran yang bersifat nyata (crisp), sistem menerapkan metode Weight Average sesuai pendekatan sugeno. Proses ini dilakukan dengan menggunakan rumus defuzzifikasi sebagai berikut.

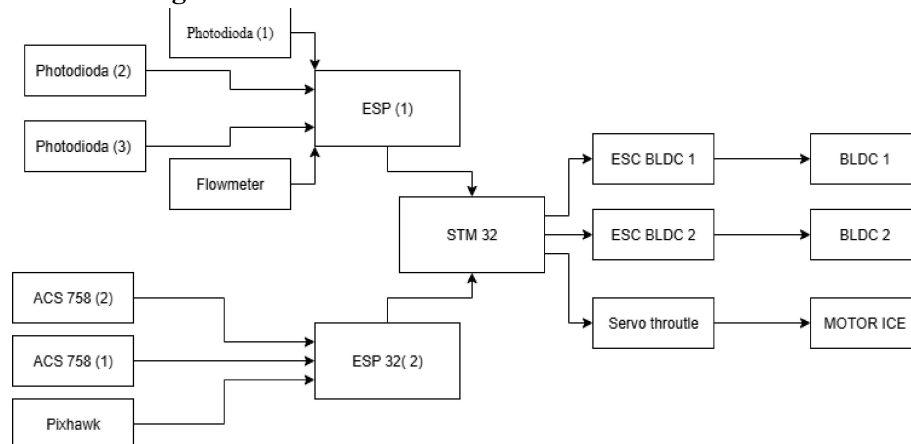
$$Output = \frac{\sum(\mu_i \times z_i)}{\sum \mu_i} \quad (3.1)$$

Keterangan :

$\mu_i$  = derajat keanggotaan urutan ke-i

$z_i$  = nilai *output* urutan ke-i

### 3. Blok Diagram Alat



**Gambar 3. 4** Blok Diagram Alat

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Perancangan sistem kontrol propulsi hibrida ditunjukkan pada gambar 3.4 yang dirancang untuk mengelola kecepatan kapal secara adaptif dengan mengkombinasikan sensor, mikrokontroller dan aktuator. Mikrokontroller STM32 berperan sebagai pusat kendali yang memproses sinyal dari sensor dan mengatur keluaran ke aktuator secara real-time. Untuk memantau kecepatan putaran motor, sistem menggunakan tiga sensor photodioda yang dipasang secara strategis, memberikan informasi akurat mengenai RPM dari motor BLDC dan mesin ICE. Dan juga dua sensor arus ACS758 yang digunakan untuk mengukur dan memantau arus listrik yang mengalir ke motor BLDC yang memungkinkan sistem menganalisis beban kerja motor.

Sensor flowmeter digunakan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar mesin ICE dan dikirim melalui modul ESP 32 (1) yang juga menerima dari sensor photodioda. Modul ini berfungsi sebagai penghubung antara sensor dengan STM32, mengirimkan data secara berkala untuk dianalisis. ESP32 menangani komunikasi serial dengan pixhawk sebagai modul navigasi yang

juga bertanggung jawab sebagai transmisi data melalui jaringan Lo-Ra atau visual telemetry.

*Output* dari sistem kontrol fuzzy PID yang tertanam pada STM32 dikonversikan menjadi sinyal PWM untuk emnggerakkan aktuator. Dua buah ESC mengatur kecepatan putar motor BLDC 1 dan BLDC 2 yang digunakan sebagai penggerak utama kapal saat beroperasi dengan kecepatan rendah. Sinyal PWM juga dikirimkan ke motor servo yang bertugas menarik throttle, sehingga bukaan bahan bakar pada mesin ICE dapat dikendalikan secara presisi. Mesin ICE aktif pada saat kapal dalam keadaan sedang dan kecepatan cepat.

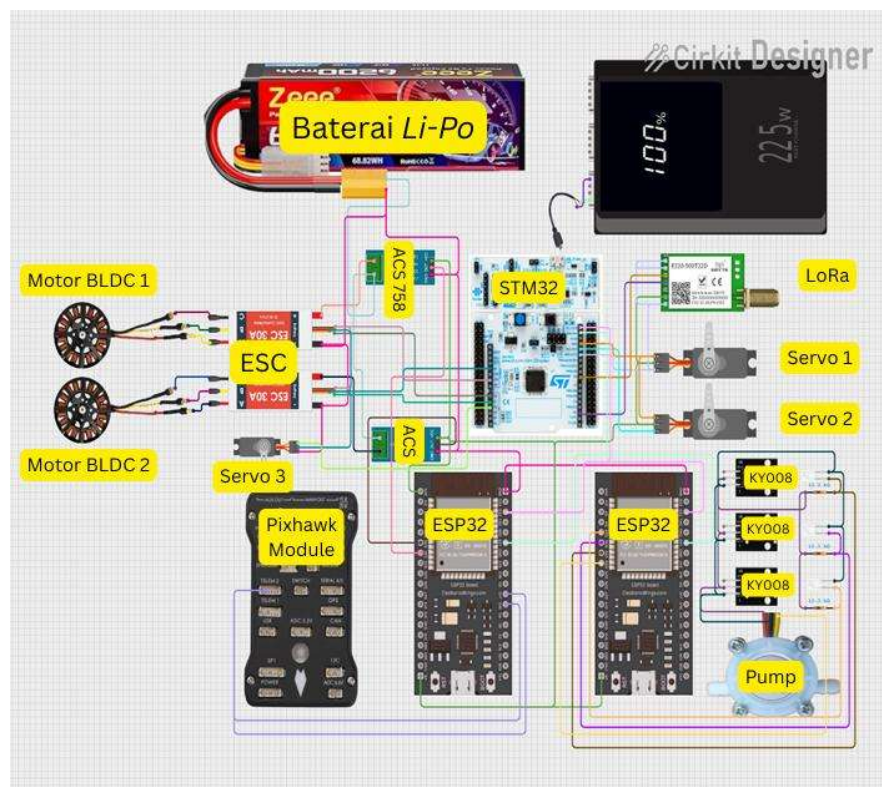
Secara keseluruhan sistem ini bekerja secara terintegrasi untuk memastikan kapal dapat beroperasi dengan stabil dan efisien dalam berbagai kondisi. Metode fuzzy PID digunakan untuk memungkinkan sistem beradaptasi secara cerdas terhadap perubahan lingkungan dan kebutuhan daya, menjaga kecepatan kapal tetap mendekati *setpoint*.

#### **4. Wiring Diagram**

Dalam perancangan alat ini, sistem perangkat keras akan dirancang dan ditampilkan dalam bentuk wiring diagram. Penyusunan wiring diagram ini merupakan langkah penting yang harus dilakukan sebelum memulai proses pembuatan alat. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dan koneksi telah direncanakan dengan baik. Sehingga dalam proses pembuatan dimulai, pekerjaan bisa lebih efisien, terorganisir, dan meminimalkan resiko kesalahan.

Wiring diagram ini juga memberikan kemudahan bagi peneliti dalam proses pembuatan alat karena sudah memiliki gambaran jelas mengenai posisi dan koneksi setiap komponen. Dalam rangkaian ini, sensor-sensor akan dihubungkan ke STM32 sebagai kontroler, dengan komponen lain yang digunakan dalam perancangan rangkaian ini. Dalam rangkaian ini, sensor *photodiode* akan dihubungkan ke STM32 dengan komponen lain yang digunakan dalam perancangan alat ini seperti pixhawk yang terhubung ke motor BLDC, mesin ICE.

Pada gambar 3.5 adalah contoh *wiring diagram* yang peneliti gunakan sebagai acuan perancangan alat, sensor-sensor yang digunakan akan diproses datanya oleh STM32.



**Gambar 3. 5** *Wiring Diagram*  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

**Tabel 3. 6** Perancangan Pin  
Sumber : Dokumentasi Pribadi

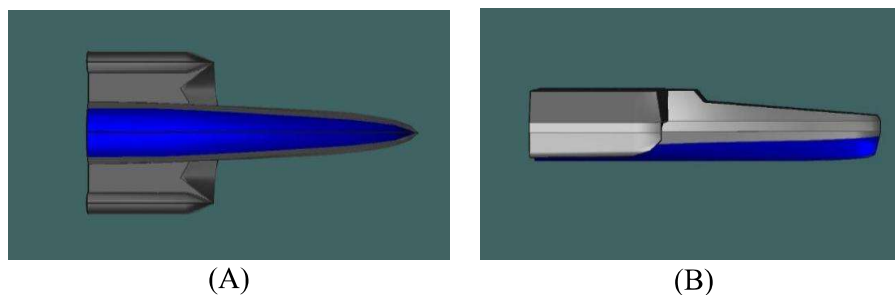
No	Komponen	Pin koneksi	Koneksi ke komponen
1	Nucleo-G0B1RE	A0	Signal pada ESC 2
2		A1	Signal pada ESC 1
3		A2	PWM servo 3 (throttle)
4		Pin 12	PWM servo 2 (rudder 1)
5		Pin 13	PWM servo 1 (rudder 2)
6		5V	VCC (5V)
7		GND	GND (semua komponen GND)
8		D2	TXD pada EBYTE LoRa E220
9		D8	RXD pada EBYTE LoRa E220
10		SCL/D15	G22 pada ESP32 1
11		SDA/D14	G21 pada ESP32 1
12	ESP32 1	GND	GND (semua komponen GND)
13		V5	VCC (5V)
14		G35	Out pada ACS758 sensor I 1
15		G34	Out pada ACS758 sensor I 2
16		G22	SCL pada Nucleo-G0B1RE
17		G21	SDA pada Nucleo-G0B1RE
18		G35	C pada photodiode 1
19		G33	C pada photodiode 2
20	G32	C pada photodiode 3	
21	ESP32 2	GND	GND (semua komponen GND)
22		V5	VCC (5V)
23		G32	Telemetry (on-screen display) pada pixhawk
24		G33	Out pada water flow rate sensor
25		G17	Telemetry serial RX pixhawk
26		G16	Telemetry serial TX pada pixhawk
27	ESC 1	Battery VCC	VCC (5V)
28		Battery GND	GND (semua komponen GND)
29		GND out	GND (semua komponen GND)
30		M1	Phase 1 pada BLDC 1
31		M2	Phase 2 pada BLDC 1
32		M3	Phase 3 pada BLDC 1
33	Signal	A1 pada Nucleo-G0B1RE	
34	ESC 2	Battery VCC	VCC (5V)
35		Battery GND	GND (semua komponen GND)
36		GND out	GND (semua komponen GND)
37		M1	Phase 1 pada BLDC 2
38		M2	Phase 2 pada BLDC 2
39		M3	Phase 3 pada BLDC 2
40		Signal	A0 pada Nucleo-G0B1RE

Penjelasan pin yang digunakan pada tabel 3.6 sebagai berikut.

1. Pin RX dan TX : digunakan sebagai komunikasi secara serial.
2. Pin GPIO (*General Purpose Input/Output*) : pin digital yang digunakan sebagai *input* dan output.
3. Pin 5V : pin yang mengeluarkan arus sebesar 5V.
4. Pin PWM D6 dan PWM D5 : merupakan pin digital yang digunakan untuk mengubah sinyal digital menjadi analog.
5. GND : pin yang digunakan untuk membumikan

##### 5. Desain *Prototype* Kapal Trimaran

Pembuatan desain kapal dirancang sebagai model awal untuk mengetahui model kapal dan ukuran kapal yang akan digunakan. Desain *prototype* kapal trimaran terinspirasi dari KRI Golok milik TNI AL. Adapun desain dari *prototype* kapal yang akan digunakan ada pada gambar 3.6.



**Gambar 3. 6** Desain *Prototype* Kapal Trimaran (A) Tampak Atas (B) Tampak Samping

Sumber : Dokumen Penelitian

Gambar 3.6 memperlihatkan desain *prototype* kapal trimaran yang akan digunakan. Desain kapal memiliki 2 lambung utama, yaitu dua lambung kecil di sisi kanan dan kiri lambung, dan lambung utama pada tengah lambung kapal. *Prototype* kapal memiliki panjang 120 cm, lebar 70

cm dan tinggi kapal 24 cm. Penempatan motor BLDC di bagian kanan dan kiri lambung, sedangkan mesin ICE dan kontroller lainnya diletakkan di lambung tengah kapal.

### **C. Rencana Pengujian**

Rencana Pengujian merupakan konsep pengujian terhadap alat yang dibuat untuk mengetahui bagaimana cara kerja dan kemungkinan permasalahan yang terjadi pada alat. Rencana pengujian yang akan dilakukan pada alat ini yaitu menggunakan dua buah metode pengujian yaitu rencana pengujian statis dan rencana pengujian dinamis.

#### **1. Rancangan Pengujian Statis**

- a. Pengujian mesin ICE, diujikan dengan cara menghidupkan motor dengan cara menarik tuas starter, lalu membuka choke dan perlahan-lahan meningkatkan kecepatan mesin dengan membuka throttle. Lalu matikan mesin setelah selesai diuji.
- b. Pengujian motor BLDC, diujikan dengan cara menyalakan motor dengan dihubungkan dengan baterai, dan pastikan arah putaran motor sesuai dengan yang diinginkan.
- c. Pengujian ESC dilakukan dengan menghubungkan ESC dengan motor BLDC dan dengan baterai.
- d. Pengujian sensor *Photodiode* dengan cara menyambungkan sensor dengan catu daya, lalu berikan pergerakan objek ke sensor, pastikan ada perubahan antara cahaya yang dipantulkan oleh permukaan dan tidak adanya cahaya ketika objek melewati sensor.

- e. Pengujian STM32 dengan cara menghubungkan board ke komputer/laptop, dan lakukan pengujian sederhana pada STM32, pastikan STM32 memberikan respon pada saat dilakukan pengujian.
- f. Pengujian ESP32 dengan cara menghubungkan board ESP32 pada komputer atau laptop, dan melakukan pengujian sederhana untuk memastikan ESP32 terhubung dan dapat digunakan.
- g. Pengujian sensor ACS758 dilakukan dengan menghubungkan sensor secara seri pada baterai dan motor, lalu membandingkan hasil pembacaan dari sensor dengan multimeter.
- h. Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan menghubungkan sensor tegangan dengan arduino dan diberi supply tegangan.
- i. Pengujian motor servo dilakukan dengan memberikan tegangan 5v pada motor servo dan diberikan sinyal PWM untuk menggerakkan motor servo sesuai dengan keinginan.

## 2. Rencana Pengujian Dinamis

Pengujian akan dilakukan dengan secara langsung oleh peneliti, dengan cara menguji dari kinerja *prototype* kapal trimaran dengan sistem propulsi hibrida. Pengujian ini dilakukan pada *prototype* kapal trimaran seperti pada gambar 2.1. Percobaan akan dilakukan dengan menjalankan *prototype* kapal trimaran sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Dimana *setpoint* terdiri dari 3 kelompok kecepatan yaitu kecepatan rendah yang terdiri dari mode pengintaian dan patroli lambat, kecepatan sedang terdiri dari mode patroli cepat dan jelajah, serta kecepatan cepat dengan mode pengejaran. Pada saat *prototype* kapal diatur pada kecepatan rendah dengan

*setpoint* kecepatan 2,16 knot dan 2,7 knot, motor BLDC akan menyala sesuai dengan *setpoint* yang diberikan. Pada kecepatan sedang dengan *setpoint* kecepatan 3,78 knot dan 4,86 knot, mesin yang berjalan adalah mesin ICE, namun ketika kapal mengalami hambatan yang ditunjukkan dengan pengurangan kecepatan pada kapal, motor BLDC akan menyala untuk membantu agar kecepatan kapal sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Pada saat kecepatan diatur pada kecepatan cepat dengan *setpoint* 5,94 knot, mesin ICE dan motor BLDC akan menyala secara bersama. Pengujian akan dilakukan pada kondisi gelombang yang berbeda-beda. Yaitu gelombang rendah dengan ketinggian 4 cm, gelombang sedang dengan ketinggian 10 cm, dan gelombang tinggi dengan ketinggian 15 cm.