

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL
DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *FUZZY*
*LOGIC***



FAJAR SURYA MUHAMMAD ALDOKO
NIT 09.21.007.1.03

disusun sebagai salah satu syarat
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*
*LOGIC***



FAJAR SURYA MUHAMMAD ALDOKO
NIT 09.21.007.1.03

disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Fajar Surya Muhammad Aldoko

Nomor Induk Taruna : 09.21.007.1.03

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 LOGIC”

Ini adalah karya orisinal yang mencakup semua ide yang terdapat dalam KIT tersebut, kecuali tema dan bagian yang saya kutip, yang merupakan pemikiran saya sendiri. Jika pernyataan ini terbukti tidak benar, saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, AGUSTUS 2025



Fajar Surya Muhammad Aldoko

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN
KAPAL DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA
BERBASIS FUZZY LOGIC

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : Fajar Surya Muhammad Aldoko

NIT : 09 21 007 1 03

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Uji Kelayakan Proposal

Surabaya, 17 Desember 2024

Pembimbing I

Pembimbing II



(EDI KURNIAWAN, SST, MT)
NIP. 198312022019021001



(Dr. ROMANDA ANNAS A., S.ST.M.M.)
NIP. 198406232010121005

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 LOGIC**

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : Fajar Surya Muhammad Aldoko

NIT : 09 21 007 1 03

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

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

Surabaya, 25 Juli 2025

Pembimbing I

Pembimbing II



(EDI KURNIAWAN, SST. MT)
NIP. 198312022019021001

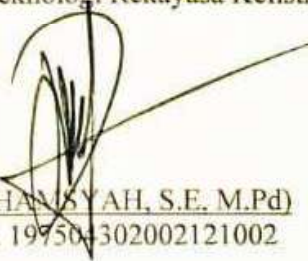


(Dr. ROMANDA ANNAS A., S.ST.M.M.)
NIP. 198406232010121005

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



(DIRHAN SYAH, S.E. M.Pd)
NIP. 197504302002121002

PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL DENGAN
SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *FUZZY LOGIC*
KAPAL

Disusun oleh:

FAJAR SURYA MUHAMMAD ALDOKO

NIT. 09.21.007.1.03

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

Surabaya, 20 Januari 2025

Mengesahkan,

Penguji I



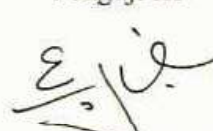
(HENNA NURDIANSARI, ST., M.T., M.Sc.)
NIP. 198512112009122003

Penguji II



(WULAN MARLIA SANDI, S.Pd., M.Pd.)
NIP. 198903262023212017

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 LOGIC*
KAPAL

Disusun oleh:

FAJAR SURYA MUHAMMAD ALDOKO

NIT. 09.21.007.1.03

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

Surabaya, 4 Agustus 2025
Mengesahkan,

Penguji I



(HENNA NURDIANSARI, ST., M.T., M.Sc.)
NIP. 198512112009122003

Penguji II



(WULAN MARLISA SANDI, S.Pd., M.Pd.)
NIP. 198903262023212017

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. 197304302002121002

ABSTRAK

FAJAR SURYA MUHAMMAD ALDOKO, 2025 Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal Dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis *Fuzzy Logic*. Dibimbing oleh bapak Edi Kurniawan, S.ST.,M.T. selaku dosen pembimbing I dan bapak Dr.Romanda Annas Amrullah, S.ST,M.M. selaku dosen pembimbing II

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki potensi kelautan yang sangat besar dalam bidang transportasi, pertahanan, dan pemantauan wilayah. Namun, pemanfaatan teknologi modern, khususnya pada kapal tanpa awak, masih tergolong terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol kecepatan berbasis logika *fuzzy* yang terintegrasi dengan sistem propulsi hibrida, yaitu kombinasi antara motor listrik BLDC dan mesin *engine*, guna meningkatkan efisiensi dan keselamatan pelayaran. Sistem ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada pengendalian sandar menggunakan *rudder* tanpa melibatkan sistem *hybrid*. Dalam implementasi pengembangan penelitian, digunakan sensor photodiode untuk mengukur rotasi per menit (RPM) dari ketiga motor pada prototipe kapal trimaran. Data kecepatan aktual dikomparasikan dengan kecepatan target *set point*, lalu diproses dalam sistem *fuzzy* untuk menyesuaikan putaran motor secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan kecepatan kapal dalam berbagai mode operasi, mulai dari pengintaian (4 km/h) hingga pengejaran (11 km/h), dengan tingkat *error* di bawah 5%. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem *autopilot* berbasis *fuzzy logic* untuk kapal tanpa awak, serta mendukung efisiensi energi, pengurangan emisi, dan peningkatan keselamatan pelayaran.

Kata kunci: Sistem kontrol kecepatan, logika *fuzzy*, propulsi hibrida, efisiensi bahan bakar, kapal *trimaran*, motor listrik induksi, sensor *IR*.

ABSTRACT

FAJAR SURYA MUHAMMAD ALDOKO, 2024 *Design of a Ship Speed Control System Using Hybrid Propulsion Based on Fuzzy Logic*. Supervised by Mr. Edi Kurniawan, S.ST., M.T. as the first advisor and Mr. Romanda Annas Amrullah, S.ST., M.M. as the second advisor.

As an archipelagic country, Indonesia possesses vast maritime potential in the fields of transportation, defense, and territorial surveillance. However, the utilization of modern technology, particularly in unmanned vessels, remains limited. This study aims to design a speed control system based on fuzzy logic integrated with a hybrid propulsion system, which combines a BLDC electric motor and an internal combustion engine, to enhance operational efficiency and navigational safety. This system is an advancement of previous research that focused solely on docking control using a rudder without involving a hybrid propulsion setup. In the implementation of this research, photodiode sensors are employed to measure the rotational speed (RPM) of both motors on a trimaran prototype. The actual speed data is compared with the target set point and then processed by the fuzzy system to automatically adjust the motor rotation accordingly. Test results show that the system is capable of maintaining stable vessel speed across various operational modes, ranging from surveillance (4 km/h) to pursuit (11 km/h), with an error margin of less than 5%. This research contributes to the development of intelligent autopilot systems based on fuzzy logic for unmanned vessels, supporting energy efficiency, emission reduction, and improved maritime safety.

Keywords: *Speed control system, fuzzy logic, hybrid propulsion, fuel efficiency, trimaran ship, induction electric motor, , IR speed sensor*

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 Logic*” Penelitian tugas akhir ini adalah dalam maksud untuk menyelesaikan program studi Diploma 4 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 proposal 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 , M.Pd. selaku Ketua Prodi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal.
3. Bapak Edi Kurniawan, S.ST.,M.T. dan Bapak Dr.Romanda Annas Amrullah, S.ST,M.M. selaku dosen pembimbing.
4. Kedua Orang tua dan kakak yang selalu memberikan dukungan berupa doa, moral dan material.
5. Kelompok *Capstone Design* yang selalu memberi semangat dan bantuan antar anggotanya.
6. Senior dan rekan serta senior ETO dimanapun berada yang sudah membantu peneliti dalam proses penulisan karya tulis ini.
7. Rekan seperjuangan taruna – taruni Politeknik Pelayaran Surabaya Angkatan 40. Peneliti menyadari masih banyak kekurangan dalam penelitian proposal ini.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam segala hal untuk menyelesaikan karya tulis ilmiah ini.
9. Teruntuk Seseorang Bernama Silfia Salsabila yang selalu ada dan memberi dukungan ,doa,nasihat , serta perhatian kepada saya dalam hidup ini

Saya menyadari bahwa dalam penulisan karya ilmiah terapan ini masih terdapat berbagai kekurangan. Namun, kekurangan tersebut dapat diubah menjadi peluang untuk meningkatkan kualitas penulisan di masa mendatang. Dengan demikian, saya berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya,

2025

Fajar Surya Muhammad Aldoko

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL	iv
PENGESAHAN SEMINAR PROPOSAL	v
PENGESAHAN SEMINAR HASIL	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya.....	6
B. Landasan Teori	9

C. Kerangka Berpikir.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
A. <i>Perancangan</i> Sistem	27
B. Model Perancangan.....	28
1. Blok diagram	29
2. Flowchart.....	32
3. <i>Hybrid Control Fuzzy</i>	33
4. <i>Wiring diagram</i>	37
C. Rencana Pengujian.....	43
1. Rencana pengujian statis.....	44
2. Rencana pengujian dinamis.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
A. Hasil Pengujian.....	48
1. Pengujian Statis	48
2. Pengujian Dinamis.....	68
B. Analisis Data.....	123
1. Analisis Pengujian Statis.....	124
2. Analisis Pengujian Dinamis	124
C. Kajian Produk Akhir	155
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	160
A. SIMPULAN.....	160

B. SARAN	161
DAFTAR PUSTAKA.....	163
LAMPIRAN.....	167

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bentuk Mesin Diesel.....	11
Gambar 2. 2 Sensor ACS758	12
Gambar 2. 3 Bentuk STM32 NUCLEO.....	13
Gambar 2. 4 Bentuk <i>Speed Sensor</i>	14
Gambar 2. 5 <i>Pixhawk Controller</i>	15
Gambar 2. 6 Motor BLDC	16
Gambar 2.7 Sensor <i>Flowmeter</i>	17
Gambar 2. 8 ESP32.....	18
Gambar 2. 9 Bentuk Kapal Trimaran.....	18
Gambar 2. 10 Bentuk Baterai lipo	19
Gambar 2. 11 Bentuk USB to TTL <i>converter</i>	20
Gambar 2. 12 <i>Voltage Sensor Divider</i>	21
Gambar 2. 13 Bentuk <i>Electronic speed control</i>	22
Gambar 2. 14 kerangka berfikir.....	26
Gambar 3. 1 Blok diagram perancangan sistem.....	27
Gambar 3. 2 Blo k Diagram Perancangan Alat	28
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> Sistem Propulsi Hibrida	32
Gambar 3. 4 <i>Rules</i> Sistem <i>Fuzzy</i>	34
Gambar 3. 5 Wiring diagram.....	37
Gambar 4. 1 Pengujian (a) STM32 <i>Blink</i> (b) STM32 <i>Non Blink</i>	49
Gambar 4. 2 Percobaan Koneksi Mikrokontroler.....	50
Gambar 4. 3 Pengujian ESP32 Menerima dan Mengirim Data	51
Gambar 4. 4 Pengaktifan Mesin <i>Internal Combution</i>	52
Gambar 4. 5 Pengetesan Mesin <i>Internal Combution</i>	52
Gambar 4. 6 Pengukuran RPM <i>Engine</i> Menggunakan <i>Tacho Meter</i>	53
Gambar 4. 7 Pengujian Servo Sumber : Dokumen Pribadi.....	55
Gambar 4. 8 Pengujian Motor BLDC Kondisi <i>Off</i>	57
Gambar 4. 9 Pengujian Motor BLDC Kondisi <i>On</i>	58
Gambar 4. 10 (a) ESC (b) Motor BLDC.....	59
Gambar 4. 11 Pengujian Sensor ACS758	60

Gambar 4. 12 Pembacaan <i>Ampere</i> dari <i>Avo Meter</i>	60
Gambar 4. 13 Monitoring Arus via <i>Serial Monitor</i>	61
Gambar 4. 14 (a) Hasil <i>Avo Meter</i> (b) Hasil pada LCD	63
Gambar 4. 15 Pengujian Pembacaan Sensor RPM	65
Gambar 4. 16 Pengujian Putaran RPM dengan <i>Tacho Meter</i>	65
Gambar 4. 17 Monitoring RPM Pada <i>Serial Monitor</i>	66
Gambar 4. 18 Pengujian Dinamis Prototype Kapal.....	69
Gambar 4. 19 Pengujian Arus Sungai dengan Botol Plastik.....	69
Gambar 4. 20 (a) Pengukuran Gelombang (b) Air Tenang.....	70
Gambar 4. 21 Pengujian 4 km/h tanpa Kontrol	71
Gambar 4. 22 RPM BLDC 1 dan 2 tanpa Kontrol 4 km/h.....	71
Gambar 4. 23 Tegangan pada Kecepatan 4 km/h Tanpa Kontrol	72
Gambar 4. 24 Sudut Throttle pada Kecepatan 4 km/h tanpa Kontrol	73
Gambar 4. 25 RPM <i>Engine</i> pada Kecepatan 4 km/h Tanpa Kontrol.....	74
Gambar 4. 26 Komsumsi Bahan Bakar 4 km/h tanpa Kontrol.....	75
Gambar 4. 27 Pengujian Kecepatan 4 km/h dengan Kontrol.....	76
Gambar 4. 28 RPM BLDC 1 dan 2 dengan Kontrol 4 km/h.....	77
Gambar 4. 29 Tegangan 1 dan 2 dengan Kontrol 4 km/h.....	77
Gambar 4. 30 Arus 1 dan 2 dengan Kontrol 4 km/h.....	78
Gambar 4. 31 Sudut Throttle 4 km/h dengan Kontrol	79
Gambar 4. 32 RPM <i>Engine</i> Kecepatan 4 km/h dengan Kontrol	80
Gambar 4. 33 Komsumsi Bahan Bakar 4 km/h dengan Kontrol.....	80
Gambar 4. 34 Pengujian 5 km/h tanpa Kontrol	82
Gambar 4. 35 RPM BLDC 1 dan 2 tanpa Kontrol 5 km/h.....	82
Gambar 4. 36 Tegangan 1 dan 2 tanpa Kontrol 5 km/h.....	83
Gambar 4. 37 Arus 1 dan 2 tanpa Kontrol 5 km/h	84
Gambar 4. 38 Sudut Throttle 5 km/h tanpa Kontrol.....	84
Gambar 4. 39 RPM <i>Engine</i> Kecepatan 5 km/h tanpa Kontrol	85
Gambar 4. 40 Komsumsi Bahan Bakar 5 km/h tanpa Kontrol.....	86
Gambar 4. 41 Pengujian <i>Set Point</i> 5 km/h dengan Kontrol	87
Gambar 4. 42 RPM BLDC 1 dan 2 dengan Kontrol 5 km/h.....	87
Gambar 4. 43 Tegangan 1 dan 2 dengan Kontrol 5 km/h.....	88

Gambar 4. 44 Arus 1 dan 2 dengan Kontrol 5 km/h.....	89
Gambar 4. 45 Sudut <i>Throttle</i> 5 km/h dengan Kontrol	89
Gambar 4. 46 RPM <i>Engine</i> 5 km/h dengan Kontrol	90
Gambar 4. 47 Komsumsi Bahan Bakar 5 km/h tanpa Kontrol.....	91
Gambar 4. 48 Pengujian <i>Set Point</i> 7 km/h tanpa Kontrol.....	92
Gambar 4. 49 RPM Motor BLDC Kecepatan 7 km/h tanpa Kontrol	93
Gambar 4. 50 Tegangan BLDC 7 km/h tanpa Kontrol.....	93
Gambar 4. 51 Arus BLDC 7 km/h tanpa Kontrol	94
Gambar 4. 52 Sudut <i>Throttle</i> 7 km/h tanpa Kontrol.....	95
Gambar 4. 53 RPM <i>Engine</i> tanpa Kontrol 7 km/h	95
Gambar 4. 54 Pemakaian Bahan Bakar 7 km/h tanpa Kontrol	96
Gambar 4. 55 Pengujian <i>Set Point</i> 7 km/h dengan control	97
Gambar 4. 56 RPM BLDC 7 km/h dengan Kontrol	98
Gambar 4. 57 Tegangan pada Kecepatan 7 km/h dengan Kontrol.....	98
Gambar 4. 58 Arus Kapal 7 km/h dengan Kontrol.....	99
Gambar 4. 59 Sudut <i>Throttle</i> 7 km/h dengan Kontrol	100
Gambar 4. 60 RPM <i>Engine</i> dengan Kontrol 7 km/h	100
Gambar 4. 61 Pemakaian Bahan Bakar 7 km/h dengan Kontrol.....	101
Gambar 4. 62 Pengujian <i>Set Point</i> 9 km/h tanpa Kontrol.....	102
Gambar 4. 63 RPM BLDC 9 km/h tanpa Kontrol.....	103
Gambar 4. 64 Tegangan pada kecepatan 9 km/h tanpa Kontrol.....	104
Gambar 4. 65 Arus pada kecepatan 9 km/h tanpa Kontrol	104
Gambar 4. 66 Sudut <i>Throttle</i> 9 km/h tanpa Kontrol.....	105
Gambar 4. 67 RPM <i>Engine</i> 9 km/h tanpa Kontrol	105
Gambar 4. 68 Pemakaian Bahan Bakar 9 km/h tanpa Kontrol	106
Gambar 4. 69 Pengujian <i>Set Point</i> 9 km/h dengan Kontrol	107
Gambar 4. 70 RPM BLDC dengan Kontrol 9 km/h	108
Gambar 4. 71 Tegangan dengan Kontrol 9 km/h	109
Gambar 4. 72 Arus dengan Kontrol 9 km/h	109
Gambar 4. 73 Sudut <i>Throttle</i> 9 km/h dengan Kontrol	110
Gambar 4. 74 RPM <i>Engine</i> 9 km/h dengan Kontrol	111
Gambar 4. 75 Pemakaian Bahan Bakar 9 km/h dengan Kontrol.....	112

Gambar 4. 76 Pengujian <i>Set Point</i> 11 km/h tanpa Kontrol	113
Gambar 4. 77 RPM BLDC tanpa Kontrol 11 km/h	114
Gambar 4. 78 Tegangan tanpa Kontrol 11 km/h	115
Gambar 4. 79 Arus tanpa Kontrol 11 km/h	115
Gambar 4. 80 Sudut <i>Throttle</i> 11 km/h tanpa Kontrol	116
Gambar 4. 81 RPM <i>Engine</i> 11 km/h tanpa Kontrol	117
Gambar 4. 82 Pemakaian Bahan Bakar 11 km/h tanpa Kontrol	117
Gambar 4. 83 Pengujian <i>Set Point</i> 11 km/h dengan Kontrol	118
Gambar 4. 84 RPM BLDC dengan Kontrol 11 km/h	119
Gambar 4. 85 Tegangan dengan Kontrol 11 km/h	120
Gambar 4. 86 Arus dengan Kontrol 11 km/h	120
Gambar 4. 87 Sudut <i>Throttle</i> 11 km/h dengan Kontrol	121
Gambar 4. 88 RPM <i>Engine</i> 11 km/h dengan Kontrol	122
Gambar 4. 89 Pemakaian Bahan Bakar 11 km/h dengan Kontrol	122
Gambar 4. 90 Analisa Perbandingan 4 km/h	125
Gambar 4. 91 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC Pada 4 km/h	127
Gambar 4. 92 Grafik Perbandingan Voltasi Pada 4 km/h	128
Gambar 4. 93 Grafik Perbandingan Ampere Pada 4 km/h	128
Gambar 4. 94 Perbandingan Sudut <i>Throttle</i> 4 km/h	129
Gambar 4. 95 Perbandingan RPM <i>Engine</i> 4 km/h	130
Gambar 4. 96 Perbandingan Komsumsi Bahan Bakar 4 km/h	131
Gambar 4. 97 Analisa Perbandingan 5 km/h	132
Gambar 4. 98 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC Pada 5 km/h	132
Gambar 4. 99 Grafik Perbandingan Voltasi Pada 5 km/h	133
Gambar 4. 100 Grafik Perbandingan Ampere Pada 5 km/h	134
Gambar 4. 101 Perbandingan Sudut <i>Throttle</i> 5 km/h	135
Gambar 4. 102 Perbandingan RPM <i>Engine</i> 5 km/h	135
Gambar 4. 103 Analisa Perbandingan 7 km/h	136
Gambar 4. 104 Perbandingan RPM BLDC 7 km/h	137
Gambar 4. 105 Perbandingan Tegangan Listrik 7 km/h	138
Gambar 4. 106 Perbandingan Arus Listrik 7 km/h	139
Gambar 4. 107 Perbandingan Sudut <i>Throttle</i> 7 km/h	140

Gambar 4. 108 Analisa Perbandingan RPM Engine 7 km/h.....	141
Gambar 4. 109 Komsumsi Bahan Bakar Kecepatan 7 km/h.....	142
Gambar 4. 110 Analisa Perbandingan 9 km/h.....	143
Gambar 4. 111 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC Pada 9 km/h.....	144
Gambar 4. 112 Grafik Perbandingan Voltasi Pada 9 km/h.....	145
Gambar 4. 113 Grafik Perbandingan Ampere Pada 9 km/h.....	146
Gambar 4. 114 Perbandingan Sudut <i>Throttle</i> 9 km/h.....	147
Gambar 4. 115 Grafik Perbandingan RPM Engine 9 km/h.....	148
Gambar 4. 116 Komsumsi Bahan Bakar Kecepatan 9 km/h.....	149
Gambar 4. 117 Analisa Perbandingan 11 km/h.....	150
Gambar 4. 118 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC 11 km/h.....	150
Gambar 4. 119 Grafik Perbandingan Voltasi Pada 11 km/h.....	151
Gambar 4. 120 Grafik Perbandingan Ampere Pada 11 km/h.....	152
Gambar 4. 121 Perbandingan Sudut <i>Throttle</i> 11 km/h.....	153
Gambar 4. 122 Grafik Perbandingan RPM Engine 11 km/h.....	154
Gambar 4. 123 Komsumsi Bahan Bakar Kecepatan 11 km/h.....	155
Gambar 4. 124 Kerusakan Pada PCB saat Beban Berlebih.....	158
Gambar 4. 125 <i>Overheat</i> pada Mesin saat Beban Berlebih.....	159

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Review Penelitian Sebelumnya.....	6
Tabel 3. 1 <i>Membership Functions</i> untuk <i>Hybrid Control</i>	33
Tabel 3. 2 Aturan <i>Fuzzy</i> untuk <i>Hybrid Control</i>	36
Tabel 3. 3 Faktor Distribusi <i>RPM Adjustment</i>	36
Tabel 3. 4 <i>PIN</i> Mikrokontroler	41
Tabel 4. 1 Pengujian STM32.....	49
Tabel 4. 2 Tabel Pengujian mesin <i>Engine</i>	54
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Motor Servo.....	55
Tabel 4. 4 Pengujian Sensor ACS758.....	61
Tabel 4. 5 Pengujian Sensor <i>Voltage Divide</i>	64
Tabel 4. 6 Pengujian Motor BLDC 1.....	66
Tabel 4. 7 Pengujian Motor BLDC 1.....	67
Tabel 4. 8 Pengujian Mesin <i>Engine</i>	67
Tabel 4. 9 Rata-rata Error Kecepatan Kapal	156

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki lebih dari 17.000 pulau dengan panjang garis pantai 95.181 km. 2/3 wilayah negaranya merupakan wilayah laut (Amrullah et al., 2025). Transportasi laut merupakan salah satu unsur vital dalam kehidupan bangsa, membina persatuan dan kepraktisan bangsa Indonesia sebagai negara kepulauan. Selain itu peranan transportasi laut secara alamiah juga berperan utama dalam mewujudkan konektivitas pulau di Indonesia (Kim & Kim, 2020; Novikova et al., 2022). Salah satu transportasi laut yaitu kapal. Kapal merupakan salah satu transportasi yang ada di laut, kapal seringkali digunakan untuk mengangkut barang melalui laut yang memungkinkannya berpindah dari satu lokasi geografis ke lokasi geografis lainnya (Adepoju, 2022).

Transportasi laut merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mobilitas antar pulau, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia. Penggunaan kapal menjadi solusi yang efisien untuk menjangkau wilayah-wilayah yang belum terhubung dengan jaringan transportasi darat. Dalam konteks ini, desain kapal jenis trimaran, yang termasuk dalam kategori *multi-hull vessel*, menawarkan sejumlah keunggulan signifikan. Trimaran merupakan kapal yang memiliki tiga buah lambung sejajar, di mana konfigurasi ini memberikan kelebihan dalam hal stabilitas, efisiensi hidrodinamika, serta penghematan konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan kapal berlambung tunggal (*mono-hull*) (Zain et al., 2018).

Keunggulan desain trimaran telah menjadikannya sebagai pilihan yang tepat tidak hanya untuk transportasi penumpang, tetapi juga untuk keperluan keamanan seperti kapal patroli. Kapal patroli dioperasikan dalam berbagai mode kecepatan, yakni mode pengintaian (4 km/h), patroli lambat (5 km/h), patroli cepat (7 km/h), jelajah (9 km/h), dan pengejaran (11 km/h). Perubahan mode kecepatan tersebut memerlukan sistem penggerak yang adaptif serta sistem kendali yang responsif dan efisien. Menurut data Kementerian Perhubungan Republik Indonesia (2023), telah terjadi peningkatan signifikan dalam jumlah pengguna jasa transportasi laut. Kondisi ini menyebabkan peningkatan beban pada kapal, yang berdampak pada konsumsi bahan bakar (Andi et al., 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi energi serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Salah satu pendekatan yang dinilai efektif yaitu implementasi sistem propulsi hibrida, yang mengombinasikan mesin diesel sebagai sumber energi konvensional dengan motor listrik sebagai sumber energi alternatif (Sunardiyo et al., 2022). Sistem propulsi hibrida menawarkan fleksibilitas dalam pemilihan mode operasi, di mana motor listrik dapat digunakan untuk kecepatan rendah dengan konsumsi energi minimum, sedangkan mesin diesel dioperasikan pada kecepatan tinggi untuk kebutuhan daya yang lebih besar (Nurpalah & Abdillah, 2024). Selain itu, sistem ini juga memungkinkan integrasi strategi manajemen energi berbasis kontrol adaptif, seperti logika *fuzzy* maupun *model predictive control*, untuk mengoptimalkan performa kapal di berbagai kondisi. Namun demikian, sistem propulsi hibrida menghadirkan tantangan tersendiri dalam

aspek pengendalian kecepatan. Perubahan beban, kondisi lingkungan perairan, serta transisi antara mode operasi menyebabkan sistem ini bersifat *non-linier*, sehingga memerlukan pendekatan kontrol yang lebih kompleks dan presisi tinggi. Oleh karena itu, pengembangan sistem kontrol kecepatan *non-linier* menjadi aspek yang sangat penting dalam menunjang kinerja kapal trimaran berbasis propulsi hibrida.

Sistem kontrol kecepatan kapal berfungsi untuk mengatur dan menjaga kecepatan sesuai dengan kondisi operasional yang diinginkan, serta mengoptimalkan efisiensi bahan bakar dan umur sistem propulsi (Subur, 2022). Untuk mencapai tujuan tersebut, sistem ini harus didukung oleh perangkat sensor dan aktuator yang mampu memantau parameter-parameter penting seperti kecepatan kapal, posisi, beban mesin, serta tingkat konsumsi energi secara real-time. Dengan dukungan teknologi tersebut, sistem kontrol dapat menyesuaikan output daya dengan kondisi operasional aktual secara adaptif dan efisien. Penelitian ini difokuskan pada perancangan prototipe kapal trimaran berskala kecil yang dilengkapi dengan sistem propulsi hibrida dan kontrol kecepatan non-linier. Prototipe ini akan digunakan sebagai media uji untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali dalam berbagai skenario operasional. Pengembangan ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi dan keberlanjutan sistem transportasi laut, tetapi juga menjadi dasar bagi pengembangan teknologi serupa pada skala kapal yang lebih besar di masa mendatang.

Dalam hal ini, untuk mengontrol sistem yang kompleks dan dinamis di atas kapal, pendekatan kontrol yang cocok adalah *fuzzy logic*, karena lebih

mampu menangani ketidakpastian dan non-linearitas dibandingkan dengan kontrol PID yang lebih sederhana (Syarif, & Juhan, 2024). Berdasarkan pemaparan latar belakang belakang diatas maka penelitian ini diberi judul, *Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis Fuzzy Logic*.

B. Rumusan Masalah

Dengan mengingat kondisi yang telah dibahas mengenai perancangan sistem kontrol pada mesin hibrida menggunakan metode Logika *Fuzzy*, terdapat dua pertanyaan utama yang perlu kita eksplorasi:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol mesin propulsi hibrida yang berdasarkan *fuzzy logic* pada prototipe kapal trimaran?
2. Bagaimana kinerja sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* dapat dibuat dalam berbagai kondisi operasional yang berbeda?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, penulis menetapkan masalah agar ruang lingkup penelitian ini memiliki batasan yang jelas. Adapun batasan masalah yang dibuat adalah sebagai berikut :

1. Metode kontrol yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic*
2. Kontroler yang diterapkan dalam penelitian adalah *Pixhawk* yang terhubung dengan STM32

3. Penelitian mengenai sistem propulsi hibrida ini memanfaatkan kombinasi antara mesin diesel dan motor listrik.
4. Sensor *speed* dalam penelitian ini digunakan untuk membaca output yang dihasilkan oleh sistem propulsi hibrida.
5. Sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* ini dirancang khusus untuk diterapkan pada prototipe kapal trimaran.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang akan dibuat memerlukan tujuan utama dalam mencapai beberapa hal-hal penting yang meliputi:

1. Merancang model metode *fuzzy logic* untuk sistem kontrol mesin propulsi hibrida pada kapal trimaran.
2. Menganalisis kinerja sistem kontrol yang berbasis *fuzzy logic* pada mesin propulsi hibrida.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk merancang dan meneliti kinerja sistem pengendalian kecepatan putaran propeler dengan menggunakan *fuzzy logic*.
2. Menjadi referensi bagi pengembangan sistem kontrol dalam penelitian selanjutnya.
3. Kecepatan kapal dapat menjadi lebih stabil dengan penerapan sistem kontrol berbasis *fuzzy logic*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. *Review Penelitian Sebelumnya*

Penelitian ini dengan judul yang akan dibahas oleh penulis dalam karya ilmiah terapan ini, yaitu Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis *Fuzzy Logic*, diperlukan dukungan dari penelitian terdahulu yang membahas topik serupa. Berikut ini adalah beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dan dapat menjadi referensi dalam penyusunan karya ilmiah ini:

Tabel 2.1 Review Penelitian Sebelumnya
Sumber : Dokumen Pribadi

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian	Perbedaan
1	Darwina ta, L. I., Wiryajat i, I. K., & Citarsa, I. B. F. (2024).	Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Teknik Modulasi Carrier Based Pulse Width Modulation (CBPWM) dengan Kendali Kontroller <i>Fuzzy Logic</i> .	Hasil pengamatan dibandingkan dengan sistem yang dikendalikan oleh kontroler PID. Hasil simulasi dengan Simulink menunjukkan bahwa kontroler <i>Fuzzy Logic</i> berbasis Carrier Based Pulse Width Modulation Control memberikan respon yang lebih baik dibandingkan dengan kontroler PID. Hal ini ditunjukkan saat terjadi overshoot 0%, rise time 0,5 detik dan setting time 1,5 detik, sedangkan pada kontroler PID saat terjadi overshoot 0,4%, rise time 0,7 detik dan setting time 2,5 detik, untuk kecepatan referensi motor 2 rad/detik dan torsi beban 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200 Nm. Dari hasil simulasi terbukti bahwa dengan menggunakan kontroler <i>Fuzzy Logic</i> berbasis Carrier Based Pulse Width Modulation Control, respon kecepatan motor	Penelitian ini berfokus pada pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan teknik Carrier-Based PWM. Berbeda dengan sistem propulsi kapal yang menggabungkan mesin diesel dan motor listrik induksi, penelitian ini tidak melibatkan kombinasi tersebut.

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian	Perbedaan
			induksi tiga fasa lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kontroler PID.	
2	Setiawan, D. I. (2020).	Perancangan Sistem Kendali Trayektori Dan Sandar Kapal Otomatis Berbasis Sistem Logika Fuzzy Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya	Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan sistem pengendalian kapal otomatis berbasis logika fuzzy mampu memberikan hasil yang lebih optimal. Sistem ini meningkatkan performa kapal, memungkinkan kapal berlayar dan bersandar sesuai lintasan yang telah ditentukan dengan tingkat kesalahan lintasan maksimum sebesar 11,5 meter dan minimum 0,085 meter. Selain itu, kontroler berbasis logika fuzzy terbukti lebih unggul dibandingkan dengan kontroler konvensional PID.	Penelitian ini mengkaji trayektori dan manuver kapal tanpa melibatkan sistem propulsi hibrida maupun prototipe kapal trimaran.
3	Hilmy, Z., & Abdilla, I. (2020).	Studi Kasus Penerapan Logika Fuzzy Pada Proses Pemilihan Kapal Barang.	Pengambilan keputusan yang tepat dan sesuai dengan kriteria yang diperlukan menjadi semakin kompleks ketika terdapat beberapa kriteria yang saling berkaitan dan harus terpenuhi. Untuk mengatasi masalah ini, logika fuzzy digunakan sebagai alat bantu dalam proses pengambilan keputusan. Dalam perencanaan pemilihan ukuran utama kapal barang pada penelitian ini, ditetapkan beberapa batasan, yaitu tinggi sarat maksimum kapal sebesar 6 meter, panjang keseluruhan kapal sekitar 100 meter, dan berat mati kapal antara 3000 hingga 5000 ton. Setelah dilakukan analisis menggunakan logika fuzzy terhadap data kapal yang dikumpulkan, hasil menunjukkan bahwa kapal nomor 16 memiliki nilai keanggotaan sebesar satu, sehingga dianggap sangat memenuhi kriteria yang ditetapkan.	Penelitian ini difokuskan pada pengambilan keputusan dalam desain kapal, tanpa mencakup pengujian teknis atau sistem propulsi. Selain itu, studi ini tidak mengarahkan perhatian pada pengaturan kecepatan.

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian	Perbedaan
4	Ulil, A. F. A. (2024).	<i>Perancangan Sistem Kendali Sandar Kapal Otomatis Berbasis Sistem Logika Fuzzy pada Kapal Ro-Ro Mutiara Ferindo I di Dermaga Zamrud Utara-Tanjung Perak Surabaya</i>	Penelitian ini menerapkan sistem kendali berbasis Logika Fuzzy pada kapal Ro-ro Mutiara Ferindo I, dengan rudder sebagai aktuator yang dikendalikan. Pengujian dilakukan melalui beberapa tahap, termasuk uji <i>open loop</i> , <i>close loop</i> , uji lintasan tanpa gangguan, serta uji lintasan dengan gangguan berupa gelombang laut. Gangguan gelombang yang disimulasikan memiliki ketinggian 1,25 meter dan 2 meter, dengan arah gelombang dari Timur ke Barat. Hasil menunjukkan bahwa metode Logika Fuzzy memiliki performa yang baik, dengan nilai rata-rata <i>error sandar</i> sebesar 1,66 meter pada kondisi tanpa gangguan maupun dengan gangguan gelombang setinggi 1,25 meter.	Penelitian ini memusatkan perhatian pada pengendalian sandar dengan memanfaatkan rudder sebagai aktuator, tanpa melibatkan motor listrik induksi, mesin diesel, atau sistem propulsi hibrida.
5	Caesarni, A. Y. (2024).	<i>Perancangan Sistem Autocontrol Posisi Tugboat untuk Support System Labuh pada Kapal Kontainer Berbasis Logika Fuzzy</i>	Sistem ini dirancang melalui simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB R2024a. Pengujian yang dilakukan meliputi uji <i>open loop</i> , <i>close loop</i> , uji lintasan dengan satu unit <i>tugboat</i> , uji lintasan dengan dua unit <i>tugboat</i> , serta uji lintasan dengan gangguan arus sebesar 0,05 m/s dan 0,7 m/s. Hasil perancangan sistem <i>autocontrol</i> pada <i>tugboat</i> untuk labuh Kapal Kontainer Meratus Malino menunjukkan kemampuan mencapai posisi labuh sesuai lintasan yang telah ditentukan, baik pada kondisi dengan gangguan maupun tanpa gangguan. Hal ini ditunjukkan oleh rata-rata nilai <i>error</i> pada setiap uji lintasan yang berada dalam rentang jari-jari <i>circle of acceptance</i> , yaitu kurang dari 70,38 meter.	Penelitian ini berfokus pada posisi labuh tugboat, mengambil tugboat sebagai objek studi, dan tidak melibatkan motor listrik induksi atau sistem propulsi hibrida, seperti yang diterapkan pada prototipe kapal trimaran.

B. Landasan Teori

Landasan teori berfungsi sebagai dasar suatu penelitian. Variasi sumber teori digunakan sebagai kerangka atau dasar teori untuk memahami secara sistematis bagaimana permasalahan dan tema penelitian dijelaskan dan di definisikan. Landasan teori juga penting untuk mengakaji penelitian penelitian sebelumnya yang sudah ada dengan teori-teori yang diterapkan. Landasan teori yang dapat mendukung pada penelitian ini dijabarkan pada sub bab dibawah.

1. Sistem Propulsi *Hybrid*

Propulsi *hybrid* adalah penggabungan pembangkitan daya yang optimum pada kondisi beban yang berbeda (Muzakki, Koenhardono, & Kurniawan, 2017). Sistem propulsi *hybrid* hanya mengalami peningkatan efisiensi sebesar 1,2%, namun peningkatan ini sangat bergantung pada profil operasional kapal tersebut (Kwasieckyj, 2013). Pada kapal patroli yang menggunakan sistem propulsi *hybrid*, kapal biasanya beroperasi dengan mode elektrik saat kecepatan rendah, di mana daya disuplai oleh motor listrik. Ketika kapal beroperasi pada kecepatan tinggi, mode mekanik digunakan, dengan daya yang disuplai oleh motor utama diesel. Sedangkan pada kecepatan menengah, kapal beroperasi dengan sistem *Power Take Off* (PTO). Konsumsi bahan bakar terendah dapat dicapai dengan menggunakan sistem propulsi *hybrid* yang menggabungkan sistem propulsi mekanik (*diesel mechanical propulsion*) dan sistem propulsi elektrik (*diesel electrical propulsion*) (Ban Straten & Ed Boer, 2012).

Gambar 2.4 menunjukkan konfigurasi sistem propulsi *hybrid* yang menggabungkan kedua sistem propulsi tersebut.

2. *Main engine*

Main engine adalah instalasi mesin atau unit penggerak utama pada kapal (Nurhuda, 2020). Mesin ini berperan vital dalam mendukung operasional kapal dengan cara menghasilkan tenaga pendorong. Prosesnya dimulai dengan mengubah tenaga mekanik hasil pembakaran bahan bakar diesel di dalam mesin menjadi tenaga pendorong. Tenaga mekanik ini kemudian disalurkan melalui sistem transmisi untuk memberikan dorongan yang diperlukan pada kapal.

Mesin diesel merupakan jenis mesin yang tergolong dalam kategori mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) (Julianto & Sunaryo, 2020). Mesin yang digunakan dalam sistem propulsi hibrida adalah mesin internal combustion yang biasa digunakan pada perahu remote control. Saat ini, sejumlah kapal niaga beroperasi dengan menggunakan motor diesel sebagai mesin penggerak utama maupun sebagai permesinan bantu.

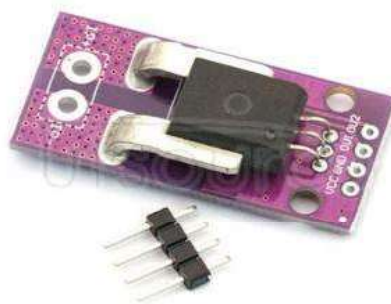


Gambar 2. 1 Bentuk Mesin Diesel
Sumber : Mesin Diesel RC – Mencari Gambar (bing.com)

3. Sensor ACS758

Sensor arus ACS758 adalah modul yang dirancang untuk mengukur arus listrik, baik arus DC maupun arus AC, dengan menggunakan prinsip effect hall (Rianto & Kusanti, 2023). Prinsip ini bekerja dengan cara memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui jalur konduktor tembaga. Medan magnet ini kemudian dikonversikan menjadi sinyal tegangan yang sebanding dengan nilai arus yang terdeteksi.

Dalam konteks pemantauan arus pada motor BLDC, sensor ACS758 berfungsi untuk memantau arus yang mengalir ke motor secara linier. Sensor ini dapat mendeteksi perubahan nilai arus dan menghasilkan keluaran berupa tegangan yang sesuai dengan perubahan tersebut. Nilai tegangan keluaran dari sensor kemudian digunakan sebagai masukan untuk mikrokontroler. Mikrokontroler akan memproses data ini untuk berbagai tujuan, seperti mengontrol kecepatan motor, memonitor kondisi beban, atau melindungi sistem dari kelebihan arus



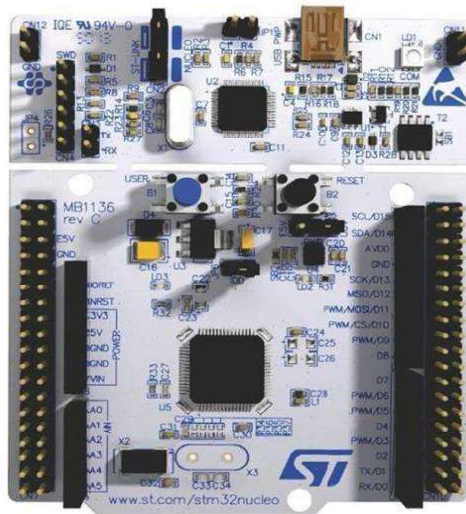
Gambar 2. 2 Sensor ACS758

Sumber : <https://id.scribd.com/document/376291676/ACS758-Datasheet>

4. STM32

STM32 adalah keluarga mikrokontroler 32-bit yang diproduksi oleh STMicroelectronics, dirancang khusus untuk berbagai aplikasi (Panjaitan, 2022). Teori dasar mengenai STM32 berfokus pada arsitektur ARM Cortex-M, yang dikenal menawarkan efisiensi tinggi dan kemampuan pemrosesan yang baik. Mikrokontroler ini sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan performa tinggi sekaligus konsumsi daya yang rendah. Secara internal, setiap mikrokontroler terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu inti prosesor, memori RAM statis, memori flash, antarmuka debugging, dan berbagai periferal. Salah satu yang populer adalah mikrokontroler STM32, yang tersedia dalam bentuk development board. Meskipun ukurannya kecil, seukuran Arduino Nano, kinerja STM32 jauh lebih unggul dibandingkan Arduino. Selain itu, modul ini sering disebut sebagai "blue pill".

Mikrokontroler STM32 menawarkan berbagai fitur menarik, termasuk pin GPIO, prosesor, memori, port USB, serta Konverter Analog ke Digital. Dengan kecepatan luar biasa mencapai 72 MHz dan efisiensi daya yang mengesankan, board ini berbasis pada inti ARM Cortex-M3 RISC 32-bit dan dilengkapi dengan osilator internal yang beroperasi pada frekuensi 4 hingga 16 MHz. Chip ini menggunakan teknologi flash CMOS dan memiliki 37 pin GPIO serta 10 pin analog. Selain itu, STM32F103C8T6 juga mendukung beberapa antarmuka komunikasi modern, seperti CAN dan port USB.

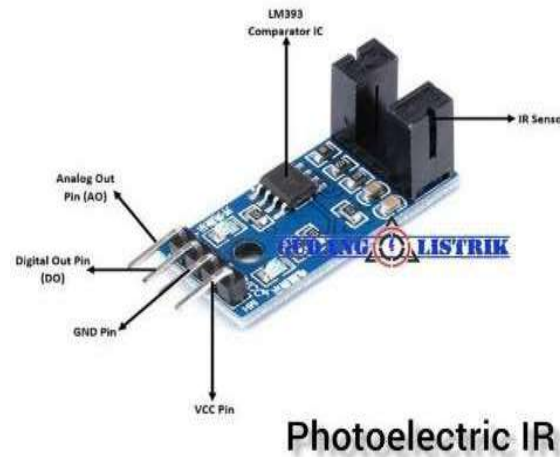


Gambar 2. 3 Bentuk STM32 NUCLEO

Sumber : STM32 NUCLEO – Mencari Gambar (bing.com)

5. Sensor *Photodiode*

Sensor RPM, atau Revolutions Per Minute, adalah perangkat yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi suatu objek, umumnya dalam satuan putaran per menit (Mashuri et al., 2021). Sebelum membahas terkait Sensor Photodiode perlu diketahui bahwa sensor ini merupakan salah satu jenis dari radiasi elektromagnetik (EM) yang merupakan sebuah sensor optik. Sensor photodiode membaca radiasi gelombang infrared yang berjarak diluar batas sensitivitas mata, yaitu sekitar $0.76\ \mu\text{m}$ hingga $100\ \mu\text{m}$. Sensor ini banyak digunakan dalam beragam aplikasi industri, otomotif, dan elektronik, berfungsi untuk memantau dan mengontrol kecepatan mesin, motor, atau komponen mekanis lainnya. sensor RPM menjadi prototype penting yang memberikan batasan nilai energi untuk menentukan kondisi kerja mesin diesel, dengan putaran normal antara 1500 dan 1800 RPM (Kurniawan et al., 2024).



Gambar 2. 4 Bentuk *Speed Sensor*
 [Sumber : *IR Speed Sensor* – Mencari Gambar (bing.com)]

6. *Pixhawk*

Pixhawk adalah flight controller yang dirancang khusus untuk pesawat tanpa awak (UAV) dan aplikasi robotika (Aulana, 2022). Dikenal karena kemampuannya yang canggih, Pixhawk dilengkapi dengan sensor IMU (Inertial Measurement Unit) yang mengukur percepatan dan rotasi, serta sensor GNSS (Global Navigation Satellite System) yang memastikan akurasi dalam penentuan posisi.

Selain itu, Pixhawk mendukung berbagai perangkat lunak open-source seperti PX4 dan ArduPilot, memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk memprogram dan mengkonfigurasi UAV sesuai dengan kebutuhan mereka. Oleh karena itu, Pixhawk banyak digunakan dalam pengembangan UAV untuk beragam aplikasi, termasuk pemetaan, pengawasan, dan pengiriman barang.



Gambar 2. 5 *Pixhawk Controller*

Sumber : <https://www.viewproonline.com/products/pixhawk-6c>

7. Motor BLDC

Motor Brushless DC (BLDC) adalah jenis motor listrik yang tidak memerlukan sikat (brush) untuk menghantarkan arus ke kumparan (Maghfiroh et al., 2022). Sebagai alternatif, motor ini memanfaatkan kontrol elektronik untuk mengatur aliran arus ke kumparan, yang pada gilirannya menghasilkan gerakan rotasi. Berikut ini adalah penjelasan dasar mengenai prinsip kerja motor BLDC. Motor DC jenis ini, yang dikenal sebagai motor BLDC (Brushless Direct Current), tidak dilengkapi dengan sikat dan komutator. Hal ini membuat motor BLDC membutuhkan lebih sedikit perawatan dan beroperasi lebih tenang dibandingkan dengan motor DC konvensional. Meskipun biaya awal untuk motor ini mungkin terlihat tinggi, umumnya biaya tersebut akan berkurang seiring berjalannya waktu.

Karena karakteristiknya yang unik, motor BLDC banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, biomedis, serta robotika yang

memerlukan rasio torsi terhadap berat yang tinggi dan kontrol posisi yang akurat untuk mencapai presisi. Motor ini dipilih karena efisiensinya yang tinggi, keandalannya, rentang kecepatan yang luas, serta kemampuan menghasilkan torsi besar dengan konsumsi daya yang rendah. Oleh karena itu, penelitian tentang struktur motor DC tanpa sikat dan pengontrolnya memiliki signifikansi teoritis dan praktis yang sangat besar.



Gambar 2. 6 Motor BLDC
[Sumber : Motor BLDC – Mencari Gambar (bing.com)]

8. *Sensor Flowmeter*

Flowmeter dikenal sebagai magnetic flowmeter ketika fluida mengalir melalui pipa transduser, fluida bertindak sebagai konduktor pemotong medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan magnetik dan transduser (Sandi et al., 2022). Akibatnya, tegangan listrik induksi terjadi. Waterflow sensor terdiri dari beberapa komponen, yaitu bodi katup, rotor air, dan sensor hall effect. Prinsip kerja dari sensor ini didasarkan pada penggunaan sensor hall effect. Ketika arus listrik mengalir melalui sensor hall effect yang ditempatkan dalam medan magnet yang arahnya tegak lurus terhadap arus listrik, pergerakan partikel bermuatan akan mengalami pembelokan ke salah satu sisi. Hal ini menghasilkan medan listrik.

Flowmeter berfungsi mengukur jumlah aliran fluida yang mengalir dalam bentuk cairan, gas atau uap. Dalam prosesnya, fluida melewati perangkat flow meter dan selanjutnya alat akan mengkalkulasikan jumlah aliran yang melewatinya. Flowmeter mengukur aliran dalam bentuk total volume (m³) cairan maupun total berat (kg) yang melewatinya dalam periode waktu tertentu



Gambar 2.7 Sensor Flowmeter

Sumber : <https://images.app.goo.gl/nBAPY6GpK3vYqb5o9>

9. ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler berbiaya rendah dan hemat daya yang dikembangkan oleh Espressif dan dilengkapi dengan kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth serta memiliki prosesor dual-core (Ezenwobodo & Samuel, 2022). Mikrokontroler ini dirancang untuk digunakan dalam perangkat mobile, wearable electronics, dan aplikasi Internet of Things (IoT).

ESP32 merupakan sistem mandiri lengkap dan tersedia dalam berbagai modul dengan harga terjangkau. Perangkat ini dilengkapi dengan prosesor yang kuat dengan kecepatan sekitar 240 MHz serta memori

sebesar 512 KiB, dan juga memiliki Ultra Low Power coprocessor dengan memori sebesar 8 KiB yang dapat beroperasi dalam mode hemat daya.



Gambar 2. 8 ESP32

Sumber : <https://raharja.ac.id/2021/11/16/mikrokontroler-esp32-3/>

10. Kapal Trimaran

Kapal Trimaran merupakan jenis kapal yang memiliki tiga lambung, terdiri dari satu lambung utama yang lebih besar dan dua lambung samping yang lebih kecil (Adietya & Gustiarini, 2018). Desain ini menawarkan stabilitas yang superior, kecepatan yang lebih tinggi, serta efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan kapal monohull, yang hanya memiliki satu lambung, maupun katamaran yang terdiri dari dua lambung.

Pemilihan bentuk badan kapal perlu didasarkan pada metode yang tepat untuk memastikan hasil yang dapat diandalkan. Salah satu contoh desain yang berhasil mengatasi gerakan kurang teratur, yang merupakan kelemahan umum kapal konvensional, adalah trimaran dengan geladak yang lebih besar.



Gambar 2. 9 Bentuk Kapal Trimaran
[Sumber : Kapal Trimaran – Mencari Gambar (bing.com)]

11. Baterai

Baterai adalah perangkat yang berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya (Panjaitan, 2022). Dalam konteks ini, baterai listrik terdiri dari dua atau lebih sel elektrokimia yang mengkonversi energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Setiap sel memiliki dua kutub: kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang ditandai positif menunjukkan bahwa ia memiliki energi potensial lebih tinggi dibandingkan dengan kutub negatif. Sementara itu, kutub negatif berfungsi sebagai sumber elektron, yang ketika dihubungkan dengan rangkaian eksternal, akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan yang terhubung.

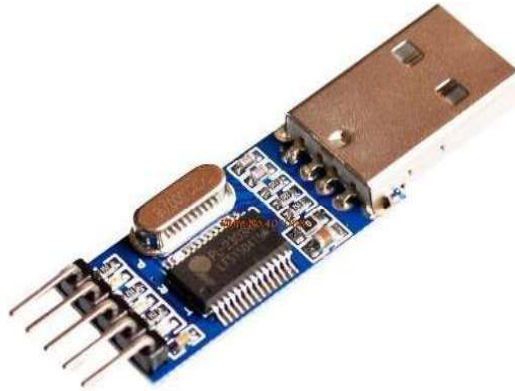
Saat baterai terhubung dengan rangkaian eksternal, elektrolit di dalamnya dapat berpindah sebagai ion, sehingga menyebabkan reaksi kimia di kedua kutub. Perlu dicatat bahwa beberapa jenis sel baterai dirancang untuk digunakan sekali saja dan tidak dapat diisi ulang; baterai semacam ini dikenal sebagai baterai primer. Contoh dari baterai primer adalah baterai padat yang sering dipakai pada lampu senter dan radio, seperti batu baterai tipe ABC.



Gambar 2. 10 Bentuk Baterai lipo
[Sumber : Baterai lipo – Mencari Gambar (bing.com)]

12. USB to TTL *converter*

Perangkat USB to TTL adalah jenis kabel konverter yang berfungsi untuk mengubah data dari USB menjadi sinyal serial (Trihantoro, Darlis, & Putri, 2014). Kabel USB to TTL ini memungkinkan pengguna untuk menghubungkan mikrokontroler dan perangkat elektronika lainnya agar dapat berkomunikasi dengan baik. Kabel ini dilengkapi dengan beberapa keluarannya, yaitu Vcc, transmitter, receiver, dan ground. USB beroperasi pada tingkat tegangan yang berbeda dibandingkan dengan TTL. Konverter USB to TTL berfungsi untuk menerjemahkan sinyal USB, yang biasanya berkisar antara 0V hingga 5V, menjadi tingkat TTL yang dapat dipahami oleh mikrokontroler, dan sebaliknya. Dengan menggunakan konverter ini, transmisi data dapat dilakukan secara dua arah. Data yang dikirim dari komputer melalui USB akan diubah menjadi tingkat TTL untuk mikrokontroler, sementara data yang berasal dari mikrokontroler akan diubah kembali menjadi sinyal USB untuk komputer.

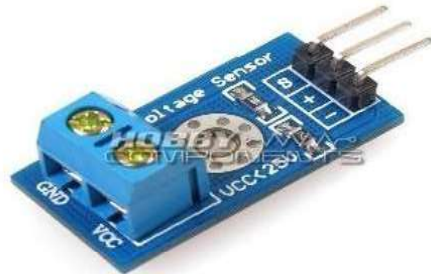


Gambar 2. 11 Bentuk USB to TTL converter
[Sumber : USB to TTL converter – Mencari Gambar (bing.com)]

13. Voltage Sensor Divider

Voltage sensor divider merupakan sensor tegangan dengan kemampuan membaca tegangan maksimum hingga 25 Volt (Susanto, 2018). Sensor ini memiliki dua pin input, yaitu "+" dan "-", yang dihubungkan secara paralel terhadap sumber tegangan yang akan diukur, seperti tegangan yang masuk ke motor BLDC. Prinsip pemasangan paralel ini memastikan bahwa sensor dapat mendeteksi tegangan tanpa memengaruhi jalur utama arus.

Pin keluaran sensor terdiri dari tiga koneksi: "+" untuk tegangan +5V, "-" untuk ground, dan "S" sebagai output yang menghasilkan sinyal tegangan analog. Tegangan analog pada pin "S" mencerminkan nilai tegangan yang terdeteksi oleh sensor. Sinyal keluaran ini dapat diatur sensitivitasnya menggunakan variabel resistor, sehingga memungkinkan penyesuaian terhadap kebutuhan sistem.



Gambar 2. 12 *Voltage Sensor Divider*

Sumber : <https://how2electronics.com/interfacing-0-25v-dc-voltage-sensor-with-arduino/>

14. *Electronic Speed Control (ESC)*

Electronic Speed Control (ESC) adalah modul rangkaian elektronik yang bertugas untuk mengatur aliran arus pada motor (Prakoso, 2015). Modul ini menyesuaikan pasokan arus sesuai dengan kebutuhan motor brushless, sehingga dapat mengatur kecepatan putaran motor secara efisien.

ESC beroperasi dengan menerima sinyal dari mikrokontroler, umumnya dalam bentuk sinyal Pulse Width Modulation (PWM). Sinyal PWM ini mengatur durasi waktu arus dalam posisi "on" dan "off" yang mengalir ke motor. Dengan mengubah lebar pulsa, ESC dapat mengontrol jumlah daya yang disuplai ke motor, yang pada gilirannya memengaruhi kecepatan rotasinya.



Gambar 2. 13 Bentuk *Electronic speed control*

[Sumber : *Electronic speed control* – Mencari Gambar (bing.com)]

15. *Fuzzy Logic*

Teori fuzzy, yang berarti tidak jelas atau samar, pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Menurut Chak (dalam Kusumadewi & Hartati, 2010), teori himpunan fuzzy sebenarnya merupakan pengembangan dari teori himpunan klasik. Dalam himpunan klasik, kumpulan suatu elemen dalam himpunan A hanya ada dua kemungkinan, yaitu elemen tersebut adalah anggota A atau bukan anggota A. Sementara itu, Kosko (dalam Berlianty, 2010) menjelaskan bahwa dasar dari teori himpunan fuzzy adalah pengakuan atas masalah yang tidak jelas atau batasan yang tidak pasti. Logika fuzzy memiliki tingkat ambiguitas antara benar dan salah, di mana sebuah nilai bisa saja benar dan salah pada saat yang sama. Hal ini disebabkan karena penentuan tingkat kebenaran atau kesalahan bergantung pada anggota keanggotaan yang dimiliki oleh unsur tersebut.

Logika fuzzy, yang merupakan evolusi dari logika Boolean, menawarkan gagasan kebenaran sebagian. Logika fuzzy menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat kebenaran. Di sisi lain, logika klasik mengatakan bahwa segala hal dapat digambarkan dalam bentuk biner (0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). Oleh karena itu, Lotfi A. Zadeh, seorang ilmuwan Iran dari Universitas California di Berkeley, adalah orang pertama yang mengembangkan logika fuzzy, yang memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, hitam dan putih, serta konsep tidak pasti seperti "sedikit", "setengah", dan "banyak" dalam bentuk linguistik (Syafitri, 2016).

Logika fuzzy adalah logika yang samar, atau fuzzy secara bahasa berarti samar. Logika fuzzy memungkinkan suatu nilai untuk memiliki nilai "benar" dan "salah" pada saat yang sama. Tingkat nilai yang dianggap benar atau salah tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika fuzzy sering digunakan untuk menunjukkan nilai yang diterjemahkan dalam bahasa (linguistik), misalnya untuk menunjukkan suhu ruangan apakah dingin, hangat, atau panas. Ini berbeda dengan logika digital, yang memiliki hanya dua keanggotaan 0 atau 1.

Fuzzy Logic adalah cabang ilmu kecerdasan buatan yang mencakup pengetahuan yang membuat komputer dapat meniru kecerdasan manusia, sehingga diharapkan komputer dapat melakukan hal-hal yang memerlukan kecerdasan manusia untuk dilakukan. Metode yang tepat untuk memasukkan ruang input ke dalam ruang output dan tetap memiliki nilai adalah logika fuzzy. Logika fuzzy memungkinkan penalaran bahasa. Oleh karena itu, perancangannya tidak membutuhkan persamaan matematis yang rumit untuk objek yang akan dikendalikan. Dengan kata lain, Fuzzy Logic dapat "meniru" kecerdasan manusia untuk melakukan sesuatu dan mengimplementasikannya ke perangkat seperti robot, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan lainnya.

Fuzzy Logic pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada tahun 1965 (Kusuma, 2018). Dia memperkenalkannya sebagai metode pemrosesan data daripada sebagai metode kontrol. Ini memungkinkan penggunaan partial set membership daripada crisp set membership atau non-membership. Karena kemampuan

komputer yang terbatas pada tahun 70-an, pendekatan berdasarkan set teori ini tidak digunakan untuk sistem kontrol. Menurut profesor Zadeh, orang tidak membutuhkan kepastian dan masukan informasi numerik karena mereka tidak mampu melakukan kontrol adaptif yang tinggi.

E.H. Mamdani kemudian menggunakan konsep Fuzzy Logic dalam bidang kontrol. Sejak saat itu, aplikasi fuzzy tumbuh dengan cepat. Di tahun 1980-an, Jepang dan negara-negara Eropa secara agresif membangun produk nyata terkait dengan konsep Fuzzy Logic yang diintegrasikan dalam produk kebutuhan rumah tangga seperti vacuum cleaner, oven mikro, dan kamera video.

Konsep *Fuzzy Logic*:

- a. *Fuzzy Logic* biasanya digunakan untuk masalah yang mengandung hal-hal seperti kebisingan, ketidakpastian (*uncertainty*), ketidaktepatan (*imprecise*), dan sebagainya.
- b. *Fuzzy Logic* menggabungkan bahasa manusia yang tepat dengan bahasa mesin yang menekankan makna atau arti.
- c. Teori *Fuzzy Logic* didasarkan pada pemikiran manusia.

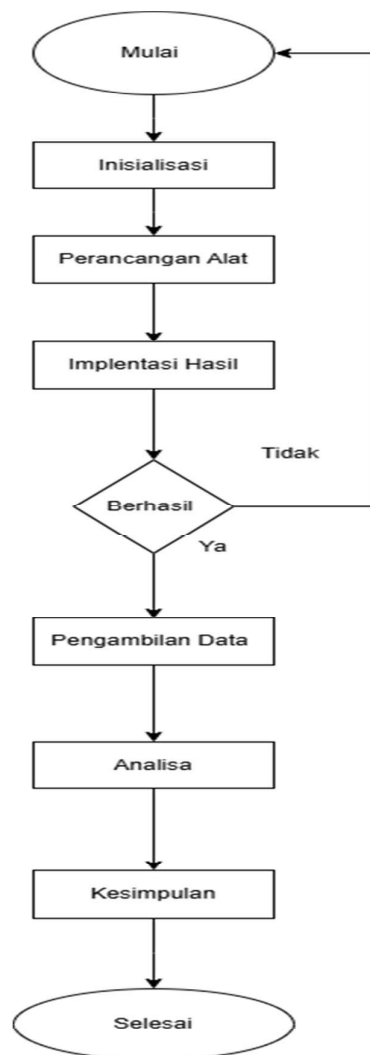
Fuzzifikasi, evaluasi aturan, dan defuzzifikasi adalah tiga proses utama yang digunakan untuk menerapkan *Fuzzy Logic* pada suatu perangkat.

- a. *Fuzzification* adalah proses mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi fuzzy. Proses ini biasanya disajikan dalam bentuk himpunan fuzzy dengan masing-masing fungsi keanggotaannya.
- b. *Sistem inferensi*, atau peraturan evaluasi, membantu menjelaskan hubungan antara variabel masukan dan keluaran; variabel yang diproses dan yang dihasilkan berbentuk fuzzy. Istilah "IF-THEN" biasanya digunakan untuk menjelaskan hubungan antara masukan dan keluaran.

- c. *Defuzzification* adalah proses mengubah variabel fuzzy menjadi data yang jelas (*crisp*) yang dapat dikirim ke peralatan pengendalian.

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir berikut ini disusun untuk mempermudah tahapan-tahapan dalam pelaksanaan penelitian. Gambar 2.12 menunjukkan kerangka berpikir tersebut secara jelas.



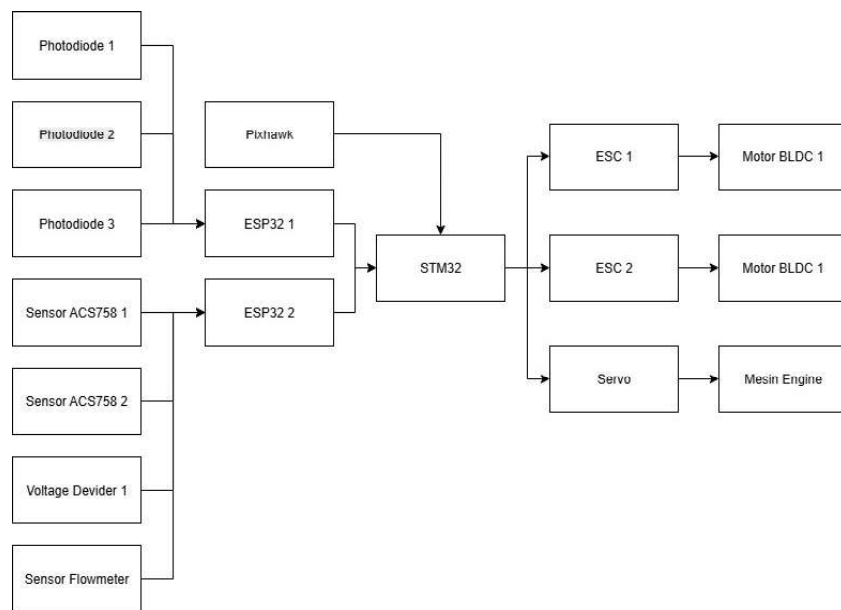
Gambar 2. 14 kerangka berfikir
Sumber : Dokumen Pribadi

BAB III

METODE PENELITIAN

Bagian ini akan menjelaskan metode yang digunakan serta desain sistem dalam Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis *Fuzzy Logic*. Metode penelitian ini mengikuti alur yang jelas, mencakup perancangan sistem, perancangan alat, serta pengujian secara dinamis dan statis, yang disusun secara sistematis dan terukur. Peneliti memanfaatkan metode eksperimen dengan tujuan untuk menghasilkan alat yang dapat diuji. Metode eksperimen ini bertujuan untuk menyelidiki hubungan sebab-akibat dengan cara memanipulasi satu atau beberapa variabel dalam kelompok eksperimen, kemudian membandingkan hasilnya dengan kelompok kontrol, yang merupakan kelompok yang tidak diberikan perlakuan (Aulia, 2022).

A. Perancangan Sistem



Gambar 3. 1 Blok diagram perancangan sistem

Sumber: dokumen penelitian

Pada blok diagram di atas, dijelaskan bahwa langkah awal yang harus dilakukan adalah memilih mode kecepatan yang diinginkan, yang juga dikenal sebagai *set point*. Setelah menentukan mode kecepatan ini, mikrokontroller akan menerima target kecepatan kapal dan memproses informasi yang diterimanya. Setelah proses pengolahan sinyal dari mode kecepatan tersebut selesai, kontroler kemudian mengirimkan sinyal atau perintah kepada motor *BLDC* atau motor *engine*. Perintah ini bertujuan agar sistem penggerak dapat menghasilkan daya dorong sesuai dengan *set point* yang ditetapkan oleh kontroler. Dengan demikian, pengendalian kecepatan kapal dapat tercapai.

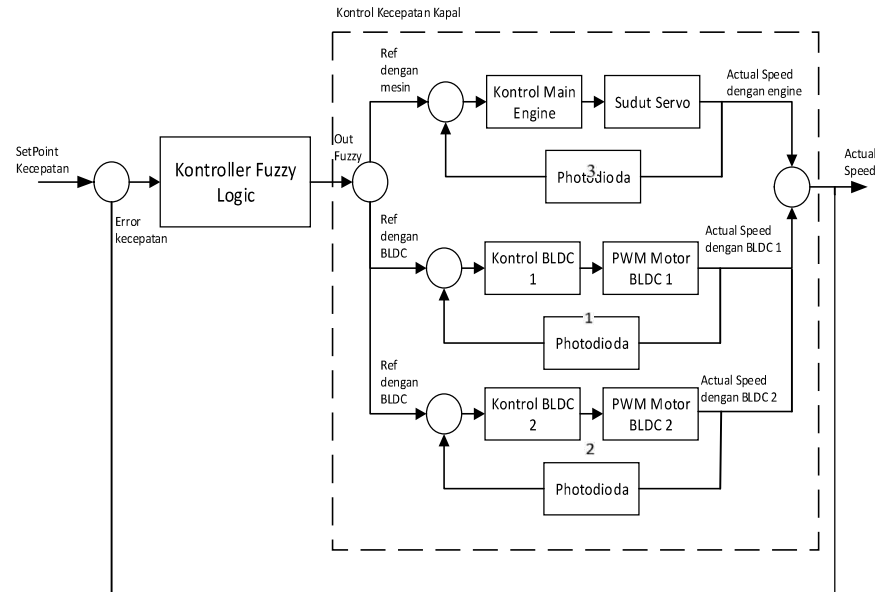
Mode kecepatan yang tersedia terdiri dari lima jenis, yaitu mode pengintaian, patroli lambat, patroli cepat, jelajah, dan pengejaran. Masing-masing mode memiliki tingkat akurasi yang berbeda. Input kecepatan memiliki angka yang berdampak pada kinerja kontroler dalam mengirimkan sinyal. Selain itu, sistem propulsi hibrida juga akan berfungsi ketika terjadi hambatan atau penurunan kecepatan dari *set point* yang telah ditentukan.

B. Model Perancangan

Perancangan alat adalah proses yang melibatkan desain dan pengembangan berbagai alat, metode, serta teknik yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam bidang manufaktur (Elkington, 1996). Dalam sub-bab ini dijelaskan lebih mendalam mengenai alur perancangan sistem propulsi hibrida yang berbasis fuzzy logic. Untuk memudahkan pemahaman perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.2

yang menggambarkan hubungan antar komponen serta alur kerja sistem secara keseluruhan.

1. Blok diagram



Gambar 3. 2 Blok Diagram Perancangan Alat

Sumber: dokumen penelitian

Gambar 3.2 menjelaskan tentang alur diagram perancangan alat, tiap komponen mempunyai peran dan fungsi masing masing. Berikut adalah penjelasan secara detail mengenai perancangan alat :

a. *Set Point Kecepatan*

Merupakan nilai kecepatan yang ditargetkan untuk dicapai oleh kapal. Nilai ini ditentukan berdasarkan kebutuhan operasional, untuk pemilihan mode kecepatan. Set point menjadi acuan utama dalam sistem kontrol kecepatan.

b. *Error Kecepatan*

Selisih antara set point kecepatan dengan kecepatan aktual kapal yang dibaca oleh sensor. Nilai error menunjukkan kondisi aktual kapal menyimpang dari target untuk digunakan sebagai input utama kontrol.

c. *Kontroller Fuzzy Logic*

Merupakan sistem pengendali berbasis logika fuzzy yang berfungsi untuk memproses nilai error kecepatan. Fuzzy sistem mampu memberikan respons kontrol yang adaptif..

d. *Out Fuzzy*

Merupakan output dari pengendali fuzzy berupa sinyal kendali (kendali fuzzy) yang akan diarahkan ke dua jalur, yaitu sistem mesin utama dan sistem motor BLDC.

e. *Kontrol Main Engine*

Berfungsi mengatur kinerja mesin utama kapal berdasarkan sinyal referensi dari pengendali fuzzy, Sistem ini menerjemahkan sinyal kontrol menjadi perintah mekanis.

f. *Sudut Servo*

Merupakan aktuator untuk mengatur sudut pembukaan throttle pada sistem mesin engine. Perubahan sudut dapat mempengaruhi seberapa besar tenaga mesin yang dikeluarkan untuk mengatur kecepatan kapal.

g. *PWM Motor*

Sistem pengatur sinyal Pulse Width Modulation digunakan untuk mengendalikan kecepatan putaran motor BLDC. Variasi PWM menentukan kecepatan motor agar dapat dikendalikan dengan tepat.

h. *Sensor Photodiode 1*

Sensor ini digunakan untuk membaca kecepatan aktual kapal yang dihasilkan motor BLDC 1 . Data sensor ini digunakan sebagai

umpan balik dalam sistem kontrol untuk mengevaluasi apakah kecepatan sudah sesuai dengan target.

i. Sensor Photodiode 2

Sensor ini digunakan untuk membaca kecepatan aktual kapal yang dihasilkan oleh motor BLDC 2. Data sensor ini digunakan sebagai umpan balik dalam sistem control.

j. Sensor Photodiode 3

Sensor ini digunakan untuk membaca kecepatan aktual kapal yang dihasilkan oleh main engine. Data sensor ini digunakan sebagai umpan balik dalam sistem kontrol untuk mengevaluasi apakah kecepatan sudah sesuai dengan target.

k. Kontrol BLDC 1

Bagian dari sistem pengendalian kecepatan untuk motor BLDC 1 (Brushless DC). Bagian ini menerima sinyal kontrol dari pengendali fuzzy dan mengaturnya menjadi sinyal PWM.

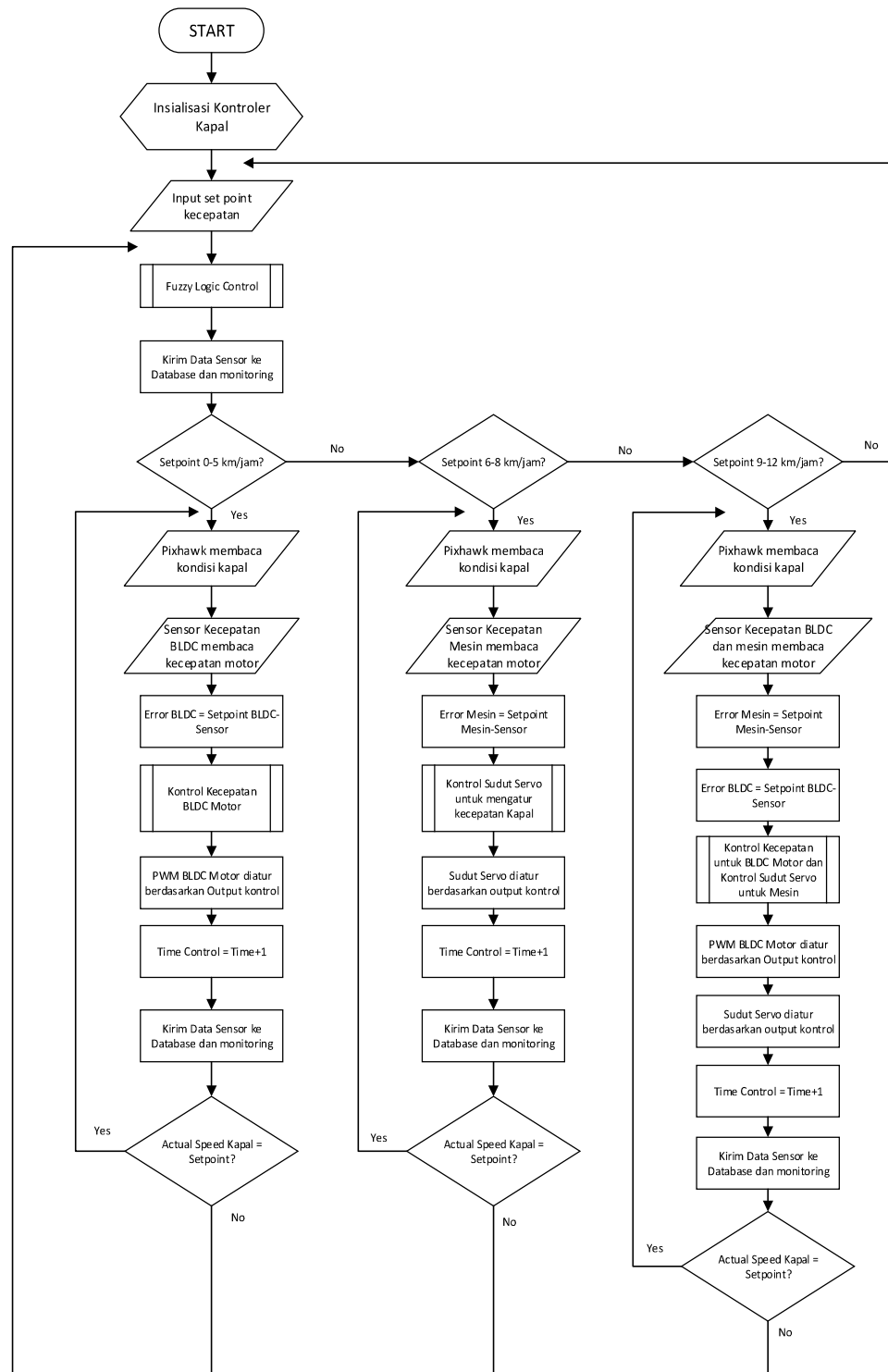
l. Kontrol BLDC 2

Bagian dari sistem pengendalian kecepatan untuk motor BLDC 2 (Brushless DC). Bagian ini menerima sinyal kontrol dari pengendali fuzzy dan mengaturnya menjadi sinyal PWM.

m. Kecepatan Kapal

Merupakan kecepatan aktual kapal yang merupakan hasil gabungan dari kedua sistem hybrid, yaitu mesin utama dan motor BLDC. Nilai ini dibandingkan kembali dengan set point kecepatan untuk menghasilkan error dalam close loop.

2. Flowchart



Gambar 3. 3 *Flowchart* Sistem Propulsi Hibrida

Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3.3 menggambarkan cara kerja sistem kontrol pada sistem propulsi. Langkah pertama adalah menetapkan setpoint sebagai dasar input awal, yang menghasilkan *RPM* yang diinginkan. Selanjutnya, sensor *speed* di gunakan untuk membaca kecepatan sebagai umpan balik, menghasilkan nilai *error*. Nilai *error* dari sensor *RPM* ini kemudian dijadikan acuan atau parameter input dalam *fuzzy logic*, yang selanjutnya menghasilkan *output power*. Nilai *output power* ini akan menentukan kecepatan motor *BLDC* dan mesin. Sistem kontrol *fuzzy logic* inilah yang memproses nilai *error* dari sensor kecepatan, menghasilkan *output power* yang diperlukan untuk mesin dan motor, sehingga kecepatan yang dihasilkan sesuai dengan setpoint yang ditentukan.

3. *Hybrid Control Fuzzy*

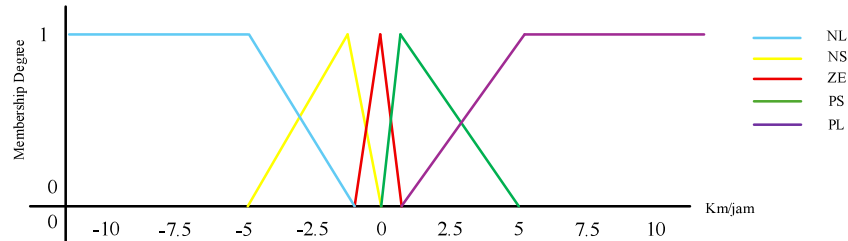
a. *Input Sistem*

- 1) Variabel *Input: Speed Error (Target Speed - Current Speed)*
- 2) *Range Input* : -5.0 hingga +5.0 km/h
- 3) Tipe Data: *Float (knot)*
- 4) Sumber: GPS/*Speed* sensor untuk *ground speed*

b. Fuzzyfikasi - *Membership Functions*

Tabel 3. 1 *Membership Functions* untuk *Hybrid Control*
Sumber : Dokumen Pribadi

Variabel Linguistik	Simbol	Range	Tipe Kurva	Parameter
<i>Negative Large</i>	NL	≤ -1.0	<i>Trapezoid</i>	$(-\infty, -\infty, -5.0, -1.0)$
<i>Negative Small</i>	NS	-5.0 to 0.0	<i>Triangle</i>	$(-5.0, -1.0, 0.0)$
<i>Zero</i>	ZE	-1.0 to +1.0	<i>Triangle</i>	$(-1.0, 0.0, +1.0)$
<i>Positive Small</i>	PS	0.0 to +5.0	<i>Triangle</i>	$(0.0, +1.0, +5.0)$
<i>Positive Large</i>	PL	$\geq +1.0$	<i>Trapezoid</i>	$(+1.0, +5.0, +\infty, +\infty)$



Gambar 3. 4 *Rules* Sistem *Fuzzy*

Sumber : Dokumen Pribadi

Pada gambar diatas merupakan sistem *fuzzy* pada *prototype* kapal, Dimana terdapat 5 variabel *fuzzy* yang digunakan untuk *setpoint* kecepatan pada kapal. Dimana terdapat 5 Fungsi keanggotaan *Fuzzy* yaitu sebagai berikut:

- 1) Pengintaian (Biru) = 4 km/jam
- 2) Patroil (Kuning) = 5 km/jam
- 3) Patroli Cepat(Merah) =7 km/jam
- 4) Jelajah (Hijau) = 9 km/jam
- 5) Pengejaran (Ungu) = 11 km/jam

Sementara untuk variable output pada sistem *fuzzy* diatas yaitu untuk mengatur kecepatan BLDC dan mengatur sudut untuk engine mesin dengan aturan *fuzzy* sebagai berikut:

- 1) *IF* Kecepatan *is* Pengintaian *THEN* BLDC = *ON* (Dengan *Input Setpoint* Kecepatan,PWM diatur kontrol kecepatan), Mesin = *OFF* (Dengan *Input Setpoint* Kecepatan, sudut diatur kontrol kecepatan)
- 2) *IF* Kecepatan *is* Patroli *THEN* BLDC = *ON* (Dengan *Input Setpoint* Kecepatan,PWM diatur kontrol kecepatan), Mesin = *OFF* (Dengan *Input Setpoint* Kecepatan, sudut diatur kontrol

kecepatan)

- 3) *IF* Kecepatan *is* Patroli Cepat *THEN* BLDC = *OFF* (Dengan Input *Setpoint* Kecepatan, PWM diatur kontrol kecepatan), Mesin = *ON* (Dengan Input *Setpoint* Kecepatan, sudut diatur kontrol kecepatan)
- 4) *IF* Kecepatan *is* Jelajah *THEN* BLDC = *OFF* (Dengan Input *Setpoint* Kecepatan, PWM diatur kontrol kecepatan), Mesin = *ON* (Dengan Input *Setpoint* Kecepatan, sudut diatur kontrol kecepatan)
- 5) *IF* Kecepatan *is* Pengejaran *THEN* BLDC = *ON* (Dengan Input *Setpoint* Kecepatan, PWM diatur kontrol kecepatan), Mesin = *ON* (Dengan Input *Setpoint* Kecepatan, sudut diatur kontrol kecepatan)

Output yang diberikan *fuzzy* berupa *input setpoint* untuk masing – masing kontrol kecepatan pada sistem BLDC dan mesin. Pada BLDC motor dengan mengatur besaran PWM, sementara mesin mengatur sudut servo atau *throthle* pada mesin. *Fuzzy logic* memberikan sistem yang halus untuk sistem *hybrid* pada kapal ini. Karena pada sistem *fuzzy logic control* diatas tidak memerlukan kalkulasi matematika yang cukup kompleks, hanya berdasarkan kerangka berpikir manusia sesuai dengan percobaan yang telah dilakukan. Selain itu juga hal ini berpengaruh pada efisiensi energi dimana BLDC berperan aktif pada kecepatan yang rendah, sementara mesin berperan aktif Ketika diperlukan saja, sementara diaktifkan

keduanya karna kondisi yang memang diperlukan kecepatan yang maksimal pada kapal.

c. *Rule Base*

Tabel 3. 2 Aturan *Fuzzy* untuk *Hybrid Control*
Sumber : Dokumen Pribadi

No Rule	Kondisi (<i>IF</i>)	Interpretasi	Aksi RPM (<i>THEN</i>)	Adjustment (RPM/s)
R1	<i>Speed Error is NL</i>	Kecepatan Terlalu Tinggi	<i>Reduce Large</i>	-500
R2	<i>Speed Error is NS</i>	Kecepatan Sedikit Tinggi	<i>Reduce Small</i>	-50
R3	<i>Speed Error is ZE</i>	Kecepatan Sesuai Target	<i>Maintain</i>	0
R4	<i>Speed Error is PS</i>	Kecepatan Sedikit Rendah	<i>Increase Small</i>	+50
R5	<i>Speed Error is PL</i>	Kecepatan Terlalu Rendah	<i>Increase Large</i>	+500

d. *Koordinasi Multi-Motor*

Tabel 3. 3 Faktor Distribusi RPM *Adjustment*
Sumber : Dokumen Pribadi

Motor	Faktor Adjustment	Keterangan
Motor 1 (BLDC)	100%	Full adjustment untuk respon cepat
Motor 2 (BLDC)	100%	Full adjustment untuk respon cepat
Motor 3 (Engine)	75%	<i>Reduced adjustment</i> untuk stabilitas

Formula Distribusi:

Old Target RPM = hasil target awal dari sistem *fuzzy* (*output* utama

fuzzySugeno)

RPM Adjustment = nilai koreksi RPM berdasarkan kondisi dinamis

Faktor *Adjustment* = tingkat kontribusi koreksi masing-masing motor

New Target RPM = hasil akhir RPM setelah dikoreksi dengan RPM

Adjustment sesuai faktor masing-masing motor.

Rumus Formula Distribusi :

$$New.Target.RPM\ 1\&2=Old.Target.RPM+(RPM.Adjustment\times1.0) \quad (3.1)$$

$$New.Target.RPM\ 3=Old.Target.RPM+(RPM.Adjustment\times0.75) \quad (3.2)$$

e. *Defuzzyfikasi*

Metode: *Weighted Average* (Sugeno)

Output: RPM Target Adjustment per detik

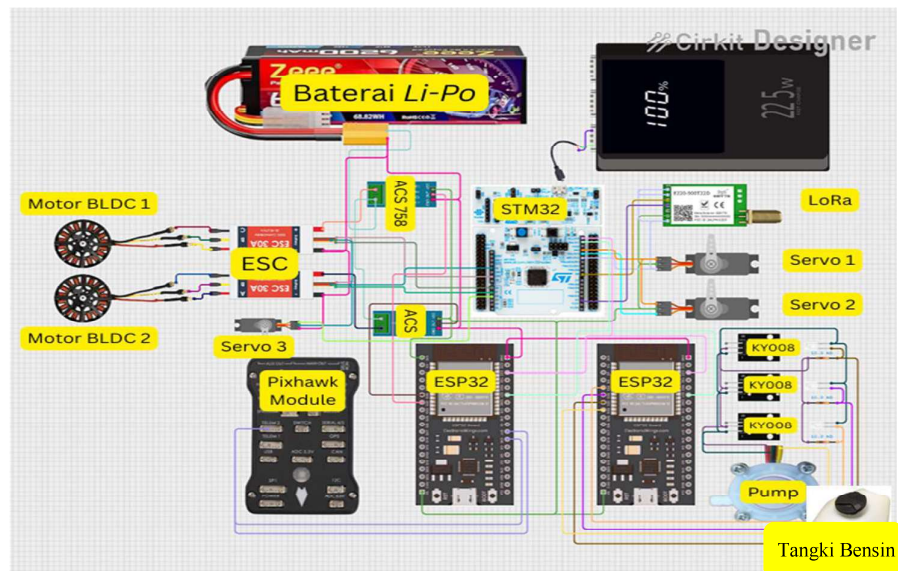
Rumus Defuzzyfikasi:

$$RPM_Adjustment = (\sum \mu_i \times z_i) / (\sum \mu_i)$$

$$Target_RPM_new = Target_RPM_old + RPM_Adjustment$$

4. *Wiring diagram*

Pada sub bab ini, kita akan membahas tentang *wiring diagram*. Perancangan alat ini memerlukan *wiring diagram* sebagai langkah dasar yang penting. *wiring diagram* tersebut akan ditampilkan pada Gambar 3.4



Gambar 3. 5 Wiring diagram
Sumber : Dokumen Pribadi

Dari diagram rangkaian yang terlampir, terlihat jelas bagaimana komponen dan sensor saling terhubung satu sama lain. Diagram ini berfungsi sebagai acuan yang memudahkan peneliti dalam proses pembuatan alat. Sistem ini dirancang dengan integrasi berbagai komponen elektronik, yang saling terhubung melalui jalur pin sesuai dengan fungsinya masing-masing. Komponen-komponen utama meliputi *Electronic Speed Controller* (ESC), motor BLDC, servo motor, *current sensor*, modul komunikasi LoRa, mikrokontroler NUCLEO dan ESP32, serta komponen pendukung lainnya seperti laser *emitter*, sensor *photodiode*, dan *flowmeter* sensor.

a. Koneksi ESC dan Motor BLDC

Terdapat dua buah *ESC* yang masing-masing digunakan untuk mengontrol dua motor *BLDC*. Setiap *ESC* memperoleh suplai daya dari jalur *VCC* (5V) dan *GND* yang menjadi referensi tegangan bersama untuk seluruh sistem. Tiga pin output pada *ESC* (M1, M2, M3) dihubungkan langsung ke tiga *phase* motor *BLDC* yang bersesuaian. Kendali sinyal diberikan dari pin *analog* pada NUCLEO, yaitu pin A1 untuk *ESC* 1 dan A0 untuk *ESC* 2.

b. Koneksi Servo Motor

Tiga buah servo motor digunakan dalam sistem ini, dua untuk pengendalian kemudi (rudder) dan satu untuk kendali throttle. Masing-masing *servo* diberi suplai dari *VCC* (5V) dan terhubung ke jalur *GND*. Sinyal kendali diberikan oleh mikrokontroler NUCLEO melalui pin:

- 1) *Servo 1 (rudder) → Pin 13*
- 2) *Servo 2 (rudder) → Pin 12*
- 3) *Servo 3 (throttle) → Pin A2*

c. Koneksi Sensor Arus (ACS758)

Dua buah *current sensor* tipe ACS758 digunakan untuk memonitor arus yang mengalir dalam sistem. Kedua sensor menerima suplai dari *VCC* dan *GND*. Output sensor pertama dihubungkan ke pin G35 pada *ESP32*, sedangkan sensor kedua terhubung ke pin G34.

d. Koneksi Modul LoRa (EBYTE E220)

Modul komunikasi *LoRa* EBYTE E220 berfungsi sebagai penghubung data nirkabel antara perangkat. Modul ini mendapatkan suplai dari *VCC* 5V dan terhubung ke *GND*. Jalur komunikasi data menggunakan pin D8 dan D2 pada NUCLEO yang masing-masing berperan sebagai *RXD* dan *TXD*.

e. Koneksi Mikrokontroler NUCLEO

Mikrokontroler NUCLEO bertindak sebagai pusat kendali utama. Beberapa pin yang digunakan antara lain:

- 1) *A0 dan A1 → Sinyal ke ESC*
- 2) *A2, Pin 12, Pin 13 → Kendali PWM untuk servo*
- 3) *D2 dan D8 → Jalur komunikasi LoRa*
- 4) *D14 (SDA) dan D15 (SCL) → Komunikasi I2C dengan ESP32*
- 5) *5V dan GND → Suplai daya dan referensi tegangan*

f. Koneksi Mikrokontroler ESP32

Modul *ESP32* digunakan untuk pembacaan data sensor dan

komunikasi tambahan. Pin G35, G34, G33, dan G32 digunakan untuk membaca keluaran dari *current sensor* dan *photodiode*. Selain itu, pin G21 (*SDA*) dan G22 (*SCL*) digunakan untuk komunikasi *I2C* dengan NUCLEO-G0B1RE. Dalam sistem ini, terdapat dua buah *ESP32* dengan fungsi berbeda:

- 1) *ESP32 1* → Membaca data dari *current sensor* dan *photodiode*
- 2) *ESP32 2* → Menangani *telemetry* dan *flow sensor*, serta komunikasi serial dengan *Pixhawk*

g. Koneksi dengan Pixhawk PX4

Kontroler *Pixhawk PX4* terhubung ke *ESP32 2* melalui jalur komunikasi serial (*TX, RX*) dan jalur *telemetry* untuk tampilan layar (*on-screen display*). Koneksi dilakukan menggunakan pin G16, G17, dan G32.

h. Koneksi Sensor *Flowmeter* (YF-S401)

Sensor *Flowmeter* YF-S401 dihubungkan ke *VCC* dan *GND*, sementara pin keluarannya dihubungkan ke G33 pada *ESP32 2*. Sensor ini digunakan untuk mengukur laju aliran air pada sistem.

i. Koneksi Laser Emitter dan Photodiode

Terdapat dua modul *KY-008 laser emitter* yang masing-masing mendapatkan suplai dari *VCC* dan *GND*. Untuk mendeteksi cahaya, digunakan tiga buah *photodiode* yang masing-masing memiliki pin kolektor (*C*) yang terhubung ke G35, G33, dan G32 pada *ESP32 1*. Sementara pin emitter (*E*) dari semua *photodiode* dihubungkan ke *GND*.

j. Sumber Daya Sistem

Sistem memperoleh suplai daya utama dari baterai *Li-Po* 6200mAh, dengan kutub positif terhubung ke *VCC* 5V dan kutub negatif ke *GND* sistem. Jalur ini menjadi sumber tegangan dan referensi utama untuk semua komponen yang terintegrasi.

Tabel 3. 4 *PIN* Mikrokontroler
Sumber: Dokumen Penelitian

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
1	ESC 1	Battery VCC	VCC (5V)
2	ESC 1	Battery GND	GND (semua komponen GND)
3	ESC 1	GND out	GND (semua komponen GND)
4	ESC 1	M1	Phase 1 pada BLDC Motor 1
5	ESC 1	M2	Phase 2 pada BLDC Motor 1
6	ESC 1	M3	Phase 3 pada BLDC Motor 1
7	ESC 1	Signal	A1 pada NUCLEO
8	ESC 2	Battery VCC	VCC (5V)
9	ESC 2	Battery GND	GND (semua komponen GND)
10	ESC 2	GND out	GND (semua komponen GND)
11	ESC 2	M1	Phase 1 pada BLDC Motor 2
12	ESC 2	M2	Phase 2 pada BLDC Motor 2
13	ESC 2	M3	Phase 3 pada BLDC Motor 2
14	ESC 2	Signal	A0 pada NUCLEO
15	BLDC Motor 1	Phase 1	M1 pada ESC 1
16	BLDC Motor 1	Phase 2	M2 pada ESC 1
17	BLDC Motor 1	Phase 3	M3 pada ESC 1
18	BLDC Motor 2	Phase 1	M1 pada ESC 2
19	BLDC Motor 2	Phase 2	M2 pada ESC 2
20	BLDC Motor 2	Phase 3	M3 pada ESC 2
21	Servo 1 (Rudder)	GND	GND (semua komponen GND)
22	Servo 1 (Rudder)	VCC	VCC (5V)
23	Servo 1 (Rudder)	PWM	Pin 13 pada NUCLEO
24	Servo 2 (Rudder)	GND	GND (semua komponen GND)
25	Servo 2 (Rudder)	VCC	VCC (5V)
26	Servo 2 (Rudder)	PWM	Pin 12 pada NUCLEO
27	Servo 3 (Throttle)	GND	GND (semua komponen GND)
28	Servo 3 (Throttle)	VCC	VCC (5V)
29	Servo 3 (Throttle)	PWM	A2 pada NUCLEO
30	ACS758 Current Sensor 1	VCC	VCC (5V)
31	ACS758 Current Sensor 1	VCC	VCC (5V)

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
32	ACS758 Current Sensor 1	GND	GND (semua komponen GND)
33	ACS758 Current Sensor 1	OUT	G35 pada ESP32 1
34	ACS758 Current Sensor 2	VCC	VCC (5V)
35	ACS758 Current Sensor 2	VCC	VCC (5V)
36	ACS758 Current Sensor 2	GND	GND (semua komponen GND)
37	ACS758 Current Sensor 2	OUT	G34 pada ESP32 1
38	EBYTE LoRa E220	GND	GND (semua komponen GND)
39	EBYTE LoRa E220	VCC	VCC (5V)
40	EBYTE LoRa E220	RXD	D8 pada NUCLEO
41	EBYTE LoRa E220	TXD	D2 pada NUCLEO
42	Lipo 6200mAh	+	VCC (5V)
43	Lipo 6200mAh	-	GND (semua komponen GND)
44	NUCLEO	A0	Signal pada ESC 2
45	NUCLEO	A1	Signal pada ESC 1
46	NUCLEO	A2	PWM pada Servo 3 (Throttle)
47	NUCLEO	Pin 12	PWM pada Servo 2 (Rudder)
48	NUCLEO	Pin 13	PWM pada Servo 1 (Rudder)
49	NUCLEO	5V	VCC (5V)
50	NUCLEO	GND	GND (semua komponen GND)
51	NUCLEO	D2	TXD pada EBYTE LoRa E220
52	NUCLEO	D8	RXD pada EBYTE LoRa E220
53	NUCLEO	SCL/D15	G22 pada ESP32 1
54	NUCLEO	SDA/D14	G21 pada ESP32 1
55	ESP32 1	GND	GND (semua komponen GND)
56	ESP32 1	V5	VCC (5V)
57	ESP32 1	G35	OUT pada ACS758 Current Sensor 1
58	ESP32 1	G34	OUT pada ACS758 Current Sensor 2
59	ESP32 1	G22	SCL pada NUCLEO
60	ESP32 1	G21	SDA pada NUCLEO
61	ESP32 1	G35	C pada Photodiode 1
62	ESP32 1	G33	C pada Photodiode 2
63	ESP32 1	G32	C pada Photodiode 3
64	ESP32 2	GND	GND (semua komponen GND)
65	ESP32 2	V5	VCC (5V)
66	ESP32 2	G32	Telemetry (on-screen display) pada Pixhawk

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
67	ESP32 2	G33	OUT pada Water Flow Rate Sensor
68	ESP32 2	G17	Telemetry (Serial) RX pada Pixhawk
69	ESP32 2	G16	Telemetry (Serial) TX pada Pixhawk
70	Pixhawk Px4 Front	Telemetry (Serial) RX	G17 pada ESP32 2
71	Pixhawk Px4 Front	Telemetry (Serial) TX	G16 pada ESP32 2
72	Pixhawk Px4 Front	Telemetry (on-screen display)	G32 pada ESP32 2
73	Water Flow Rate Sensor YF-S401	IN positive	VCC (5V)
74	Water Flow Rate Sensor YF-S401	GND negative	GND (semua komponen GND)
75	Water Flow Rate Sensor YF-S401	OUT signal output	G33 pada ESP32 2
76	KY-008 Laser Emitter 1	SIG	GND (semua komponen GND)
77	KY-008 Laser Emitter 1	5V	VCC (5V)
78	KY-008 Laser Emitter 1	GND	GND (semua komponen GND)
79	KY-008 Laser Emitter 2	SIG	GND (semua komponen GND)
80	KY-008 Laser Emitter 2	5V	VCC (5V)
81	KY-008 Laser Emitter 2	GND	GND (semua komponen GND)
82	Photodiode 1	E	GND (semua komponen GND)
83	Photodiode 1	C	G35 pada ESP32 1
84	Photodiode 2	E	GND (semua komponen GND)
85	Photodiode 2	C	G33 pada ESP32 1
86	Photodiode 3	E	GND (semua komponen GND)
87	Photodiode 3	C	G32 pada ESP32 1

C. Rencana Pengujian

Rencana pengujian dalam penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi performa sistem kontrol berbasis logika *fuzzy* dalam berbagai kondisi operasional. Pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rencana pengujian statis

Pengujian statis adalah proses di mana setiap komponen diuji secara individual sebelum dirakit menjadi suatu alat.

a. STM 32

Pengujian STM 32 sebagai pengontrol dalam sistem propulsi hibrida bertujuan untuk memastikan kinerjanya yang optimal. Proses ini dilakukan dengan menghubungkan STM 32 ke laptop dan melakukan pengujian program menyalakan LED. Jika LED pada STM32 memberikan respons *blink* menyala dan mati, maka dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler tersebut berfungsi dengan baik.

b. ESP32

Pengujian dilakukan untuk memastikan ESP32 dapat mengirimkan data secara normal. Data dikirim dari ESP32 ke perangkat penerima (*Serial Monitor*) melalui koneksi serial atau jaringan untuk menguji pengiriman data secara *serial* sudah akurat.

c. Mesin *Internal Combustion* (mesin bensin)

Pengujian mesin bensin sebagai mesin *engine* bertujuan untuk menentukan rotasi per menit (RPM) yang dapat dihasilkan oleh mesin *engine*. Proses ini dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah seperti menarik tuas *starter*, mengatur *choke*, dan membuka *throttle* untuk mengukur kecepatan mesin.

d. Motor Servo

Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal dari mikrokontroler untuk menentukan beberapa nilai derajat sudut°.

Pergerakan motor servo kemudian diamati sudutnya dan dibandingkan dengan menggunakan alat busur derajat.

e. Motor *BLDC*

Pengujian motor *Brushless DC* (BLDC) sebagai komponen pendukung dalam sistem hibrida bertujuan untuk mengevaluasi kualitas kinerja motor tersebut. Proses ini melibatkan pengaktifan motor dan memverifikasi baha arah putaranya sudah sesuai

f. *Electronic Speed Controller*

Pengujian statis pada ESC dilakukan untuk memastikan fungsi dasar komponen sebagai pengendali arus ke motor BLDC. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan ESC ke sumber daya dan sistem kendali mikrokontroler, kemudian menyalakan dan mematikan sinyal kendali (*on/off*) tanpa memutar motor. Fokus utama pengujian ini adalah mengamati apakah terjadi aliran arus saat ESC diaktifkan.

g. Sensor ACS758

Pengujian statis dilakukan dengan mengalirkan arus melalui sensor ACS758 dan mengamati *output* tegangan dari pin *OUT*. Sensor ini dipasang seri dengan beban, dan hasil tegangan dibandingkan dengan nilai arus aktual dari multimeter. Jika tegangan output sesuai, maka sensor berfungsi dengan baik.

h. *Voltage Divider Sensor*

Pengujian statis dilakukan untuk memastikan rangkaian voltage divider dapat membaca tegangan baterai 12V untuk motor BLDC. Tegangan hasil pembagian diukur dengan multimeter dan

dibandingkan dengan nilai teoritis. Jika sesuai, maka rangkaian dinyatakan berfungsi dengan baik.

i. Sensor *Photodiode*

Pengujian sensor *speed*, yang berfungsi sebagai pembaca RPM, bertujuan untuk memastikan kinerjanya yang optimal. Proses ini dilakukan dengan memberikan pergerakan pada objek di depan sensor yaitu putaran motor. Pembacaan sensor dibandingkan dengan *tachometer* untuk melihat pengujian sensor *speed* telah sesuai dan berfungsi dengan baik.

2. Rencana pengujian dinamis

Pengujian dinamis merupakan bagian integral dari rencana pengujian alat, yang bertujuan untuk mengidentifikasi secara menyeluruh berbagai titik permasalahan. Proses pengujian ini akan dilakukan secara langsung oleh peneliti, dengan fokus pada penerapan sistem kontrol pada *prototype* kapal trimaran yang menggunakan sistem propulsi hibrida. Dalam pengujian ini, kapal trimaran akan digerakkan oleh mesin *engine*, sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Peran motor *BLDC* sebagai penggerak tambahan adalah untuk mengoperasikan kapal trimaran ketika *set point* yang diinginkan berada di kecepatan 4 km/h dari performa mesin *engine*. Jika *set point* tercapai pada kisaran 7 km/h hingga 9 km/h, penggerak utama kapal trimaran akan beralih ke mesin *engine*. Selain itu, sistem propulsi hibrida akan aktif dengan menggabungkan kerja mesin *engine* dan motor *BLDC* ketika kecepatan kapal melebihi 9 km/h dan mesin *engine* sedang beroperasi maka motor *BLDC* akan bekerja

membantu untuk mengembalikan kecepatan sesuai *set point*. Mode kecepatan yang tersedia terdiri dari lima jenis, yaitu mode pengintaian, patroli lambat, patroli cepat, jelajah, dan pengejaran. Dengan berbagai keunggulan yang dimilikinya, desain kapal trimaran telah banyak diaplikasikan untuk kapal perang dan patroli. Pada kapal patroli, lima mode kecepatan yang diuji meliputi mode pengintaian (4 km/h), patroli lambat (5 km/h), patroli cepat (7 km/h), jelajah (9 km/h), dan pengejaran (11 km/h). Sistem kontrol akan diuji untuk memastikan kemampuan *fuzzy logic* dalam mempertahankan stabilitas kecepatan di setiap mode tersebut.