

LAPORAN TUGAS AKHIR

PROTOTYPE

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL
DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *NEURAL*
*NETWORK METHOD***



FIGO CAHYO PRASOJO

NIT 09.21.007.1.07

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

PROTOTYPE

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN KAPAL
DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *NEURAL*
*NETWORK METHOD***



FIGO CAHYO PRASOJO

NIT 09.21.007.1.07

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan program pendidikan sarjana terapan

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Figo Cahyo Prasajo

Nomor Induk Taruna : 09.21.007.1.07

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 *NEURAL NETWORK METHOD***

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, 7 Agustus 2025



Figo Cahyo Prasajo

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN
KAPAL DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA
BERBASIS *NEURAL NETWORK METHOD*

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : FIGO CAHYO PRASOJO

NIT : 09.21.007.1.07

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan


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

Surabaya, 10 Januari 2025

Menyetujui,

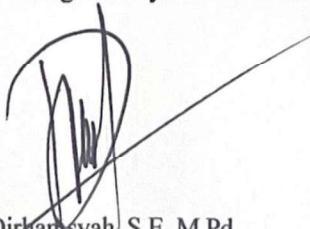
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Edi Kurniawan, SST,MT
NIP. 198312022019021001


Eka Nurmala Sari A,M.Pd.
NIP. 198908152024212011

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


Dighamsyah S.E. M.Pd
NIP. 197504302002121002

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : PERANCANGAN SISTEM KONTROL KECEPATAN
KAPAL DENGAN SISTEM PROPULSI HIBRIDA
BERBASIS *NEURAL NETWORK METHOD*

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : FIGO CAHYO PRASOJO

NIT : 09.21.007.1.07

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, SST.MT
NIP. 19831202201921001


Eka Nurmala Sari A.M.Pd.
NIP. 198908152024212011

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


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

PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PERANCANGAN SISTEM KECEPATAN KAPAL DENGAN SISTEM
PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *NEURAL NETWORK METHOD***

Disusun oleh:

FIGO CAHYO PRASOJO

NIT. 09.21.007.1.07

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

Surabaya, 10 Januari 2025

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



Dr. Agus Dwi S., 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.S.T., M.T.
NIP. 198312022019021001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



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

PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

PERANCANGAN SISTEM KECEPATAN KAPAL DENGAN SISTEM
PROPULSI HIBRIDA BERBASIS *NEURAL NETWORK METHOD*

Disusun oleh:

FIGO CAHYO PRASOJO

NIT. 09.21.007.1.07

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

Surabaya, 31 Juli 2025

Mengesahkan,

Dosen Penguji I



Dr. Agus Dwi S., 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

ABSTRAK

FIGO CAHYO PRASOJO, (2025) “Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal dengan Sistem Propulsi Hibrida Berbasis *Neural Network method*”. Dibimbing oleh Bapak Edi Kurniawan, SST, MT. dan Eka Nurmala Sari Agustina, M.Pd.

Peningkatan jumlah kapal berbahan bakar fosil di Indonesia menimbulkan tantangan serius terkait efisiensi energi dan emisi gas buang. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol kecepatan kapal dengan propulsi hibrida berbasis metode *Neural Network* (NN) untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, stabilitas kecepatan, dan keselamatan sistem. Sistem dikembangkan pada prototipe kapal trimaran yang mengombinasikan motor listrik BLDC dan *Internal Combustion Engine* (ICE). NN dirancang dengan arsitektur 5-8-3 sebagai pengendali adaptif, memproses input kecepatan aktual dan RPM untuk menghasilkan sinyal kendali motor secara *real-time*. Pengujian dilakukan secara statis dan dinamis pada lima *set point* kecepatan (4, 5, 7, 9, dan 11km/jm) dalam kondisi arus $\pm 0,57$ m/s dan ombak setinggi 2–15 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan kontrol NN meningkatkan stabilitas kecepatan, dengan deviasi $< 0,5$ km/jm pada *set point* rendah, serta mengurangi fluktuasi RPM secara signifikan. Efisiensi bahan bakar juga meningkat, khususnya pada kecepatan tinggi; kenaikan konsumsi hanya $\pm 3,42$ ml dengan kontrol dibandingkan $\pm 43,6$ ml tanpa kontrol. Selain itu, sistem dilengkapi proteksi *overcurrent* yang efektif mencegah kerusakan komponen, terbukti setelah insiden percobaan awal. Meskipun demikian, pada *set point* 9 dan 11km/jm, kecepatan aktual belum sepenuhnya mencapai target akibat keterbatasan *database* NN, sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa integrasi *Neural Network* dalam sistem propulsi hibrida berpotensi besar untuk pengembangan kapal cerdas yang hemat energi, stabil, dan ramah lingkungan.

Kata kunci: Propulsi Hibrida, *Neural Network*, Kontrol Kecepatan, Kapal Trimaran, Motor BLDC, Motor ICE

ABSTRACT

FIGO CAHYO PRASOJO, (2025) *"Design of Ship Speed Control System with Hybrid Propulsion System Based on Neural Network Method"*. Supervised by Mr. Edi Kurniawan, SST, MT. and Eka Nurmala Sari Agustina, M.Pd.

The increasing number of fossil-fueled vessels in Indonesia poses significant challenges regarding energy efficiency and exhaust emissions. This research aims to design and implement a hybrid propulsion speed control system using a Neural Network (NN) method to improve fuel efficiency, speed stability, and system safety. The system was developed on a trimaran prototype combining BLDC electric motors and an Internal Combustion Engine (ICE). The NN was designed with a 5-8-3 architecture as an adaptive controller, processing actual speed and RPM inputs to generate real-time motor control signals. Testing was conducted under static and dynamic conditions at five speed set points (4, 5, 7, 9, and 11 km/jms) with a current of ± 0.57 m/s and wave variations of 2–15 cm. The results show that NN-based control improves speed stability, achieving a deviation of less than 0.5 km/jms at low set points, and significantly reduces RPM fluctuations. Fuel efficiency was also improved, particularly at high-speed modes, with an increase of only ± 3.42 ml with control compared to ± 43.6 ml without control. The system also incorporates an overcurrent protection feature that effectively prevents component damage, as confirmed after initial trial incidents. However, at 9- and 11-km/jm set points, the target speed was not fully achieved due to limitations in the NN database, requiring further optimization. Overall, this study demonstrates that integrating Neural Network control into hybrid propulsion systems offers great potential for developing intelligent ships that are energy-efficient, stable, and environmentally friendly.

Keywords: *Hybrid Propulsion, Neural Network, Speed Control, Trimaran Ship, BLDC Motor, ICE Engine*

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 Neural Network* ” 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 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 sebagai penunjang kelancaran dalam segala kegiatan akademik.
3. Bapak Edi Kurniawan, S.ST.,M.T. dan ibu Eka Nurmala Sari Agustina, M.Pd. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan serta bimbingan mengenai penelitian saya.
4. Kedua Orang tua bapak Suradi dan Ibu rusyati yang selalu memberikan dukungan berupa doa, moral dan material.
5. Keempat saudara saya yang telah memberikan motivasi dan pembelajaran kepada peneliti.
6. Seluruh crew kapal FTU 3503, IBU F, DAN SPB LAIS yang telah memberikan ilmu dan motivasi kepada peneliti selama melaksanakan praktek layar.
7. Kelompok *Capstone Design* yang selalu memberi semangat dan bantuan antar anggotanya.
8. Rekan seperjuangan taruna – taruni Politeknik Pelayaran Surabaya Angkatan 40 yang telah memberikan dukungan serta memberikan motivasi dan semangat sehingga saya dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan

Peneliti menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penelitian proposal ini. Kritik dan saran yang membangun sangat peneliti harapkan dan semoga penelitian ini akan bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya,.....2025

Figo Cahyo Prasajo
NIT. 09.21.007.1.07

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR.....	iv
PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR.....	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	2
C. BATASAN MASALAH	3
D. TUJUAN PENELITIAN.....	4
E. MANFAAT PENELITIAN.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. REVIEW PENELITIAN SEBELUMNYA	5
B. LANDASAN TEORI	7
C. KERANGKA BERPIKIR	20

BAB III METODE PENELITIAN	21
A. PERANCANGAN SISTEM	21
B. PERANCANGAN ALAT	22
C. RENCANA PENGUJIAN	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
A. HASIL PENGUJIAN	43
B. ANALISIS DATA	98
C. KAJIAN PRODUK AKHIR	125
BAB V PENUTUP.....	128
A. SIMPULAN	128
B. SARAN	129
DAFTAR PUSTAKA.....	131
LAMPIRAN.....	133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor ICE Zenoah	8
Gambar 2. 2 Kontruksi Motor <i>BLDC</i>	9
Gambar 2. 3 Diagram <i>Neural Network</i>	10
Gambar 2. 4 <i>PIXHAWK</i>	11
Gambar 2. 5 STM 32.....	12
Gambar 2. 6 USB to TTL.....	13
Gambar 2. 7 Electronic <i>Speed</i> Kontrol	14
Gambar 2. 8 ESP 32	14
Gambar 2. 9 Baterai	15
Gambar 2.10 Sensor Flowmeter.....	17
Gambar 2. 11 Sensor ACS758	18
Gambar 2. 12 Voltage Sensor Divider	19
Gambar 2. 13 Konfigurasi Kapal Trimaran	19
Gambar 2. 14 Kerangka Berfikir.....	20
Gambar 3. 1 Blok Diagram Perancangan Sistem.....	21
Gambar 3. 2 Blok Diagram Perancangan Alat.....	23
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i>	27
Gambar 3. 4 Blok Diagram Alat	32
Gambar 3. 5 Wiring Diagram.....	34
Gambar 3. 6 <i>Prototype</i> Kapal Trimaran.....	41
Gambar 4. 1 Pengujian STM32 Dengan Program <i>Blink</i>	44
Gambar 4. 2 Pengujian Kirim dan Terima Data ESP32.....	45
Gambar 4. 3 Pengujian Motor ICE Zenoah	46
Gambar 4. 4 Pengujian Motor BLDC	47
Gambar 4. 5 Rangkaian Pengujian ESC	48
Gambar 4. 6 Pengujian Sensor ACS758	49
Gambar 4. 7 Pembacaan <i>Ampere</i> dari <i>Avo Meter</i>	50
Gambar 4. 8 Monitoring Arus via <i>Serial Monitor</i>	50
Gambar 4. 9 Pengujian Sensor <i>Voltage Divider</i>	52
Gambar 4. 10 Pengujian Sensor <i>Photodiode</i>	54
Gambar 4. 11 <i>Prototype</i> Kapal Trimaran.....	56
Gambar 4. 12 Pengujian Arus Sungai Menggunakan Botol Plastik	56
Gambar 4. 13 Pengukuran Ketinggian Gelombang	57
Gambar 4. 14 Grafik Kecepatan pada 4km/jm Tanpa Kontrol	58
Gambar 4. 15 Grafik RPM Motor BLDC Pada 4Km/jm Tanpa Kontrol.....	59
Gambar 4. 16 Grafik RPM Mesin Pada 4Km/jm Tanpa Kontrol	59
Gambar 4. 17 Grafik Ampere Pada 4Km/jm Tanpa Kontrol	60
Gambar 4. 18 Grafik Voltase Pada 4Km/jm Tanpa Kontrol.....	61
Gambar 4. 19 Grafik Throttle Pada 4Km/jm Tanpa Kontrol.....	61
Gambar 4. 20 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 4Km/jm Tanpa Kontrol.....	62
Gambar 4. 21 Grafik Kecepatan Pada 4Km/jm Dengan Kontrol.....	62

Gambar 4. 22 Grafik RPM Motor BLDC Pada 4Km/jm Dengan Kontrol	63
Gambar 4. 23 Grafik RPM Mesin Pada 4Km/jm Dengan Kontrol	63
Gambar 4. 24 Grafik Ampere Pada 4Km/jm Dengan Kontrol.....	64
Gambar 4. 25 Grafik Voltasi Pada 4Km/jm Dengan Kontrol.....	64
Gambar 4. 26 Grafik <i>Throttle</i> Pada 4Km/jm Dengan Kontrol	65
Gambar 4. 27 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 4Km/jm Dengan Kontrol	65
Gambar 4. 28 Grafik Kecepatan Pada 5Km/jm Tanpa Kontrol.....	66
Gambar 4. 29 Grafik RPM Mesin Pada 5Km/jm Tanpa Kontrol S	67
Gambar 4. 30 Grafik RPM Mesin Pada 5Km/jm Tanpa Kontrol	67
Gambar 4. 31 Grafik Ampere Pada 5 Km/jm Tanpa Kontrol.....	68
Gambar 4. 32 Grafik Voltase Pada 5Km/jm Tanpa Kontrol.....	68
Gambar 4. 33 Grafik <i>Throttle</i> Pada 5Km/jm Tanpa Kontrol.....	69
Gambar 4. 34 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 5Km/jm Tanpa Kontrol.....	69
Gambar 4. 35 Grafik Kecepatan Pada 5Km/jm Dengan Kontrol.....	70
Gambar 4. 36 Grafik RPM Mesin Pada 5Km/jm Dengan Kontrol	71
Gambar 4. 37 Grafik RPM Mesin Pada 5Km/jm Dengan Kontrol	71
Gambar 4. 38 Grafik Ampere Pada 5Km/jm Dengan Kontrol.....	72
Gambar 4. 39 Grafik Voltase Pada 5Km/jm Dengan Kontrol	72
Gambar 4. 40 Grafik <i>Throttle</i> Pada 5Km/jm Dengan Kontrol	73
Gambar 4. 41 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 5Km/jm Dengan Kontrol	73
Gambar 4. 42 Grafik Kecepatan Pada 7Km/jm Tanpa Kontrol.....	74
Gambar 4. 43 Grafik RPM Motor BLDC Pada 7Km/jm Tanpa Kontrol.....	75
Gambar 4. 44 Grafik RPM Mesin Pada 7Km/jm Tanpa Kontrol	75
Gambar 4. 45 Grafik Ampere Pada 7Km/jm Tanpa Kontrol	76
Gambar 4. 46 Grafik Voltase Pada 7Km/jm Tanpa Kontrol.....	76
Gambar 4. 47 Grafik <i>Throttle</i> Pada 7Km/jm Tanpa Kontrol	77
Gambar 4. 48 Grafik Konsumsi Bahan Bakar pada 7Km/jm Tanpa Kontrol	77
Gambar 4. 49 Grafik Kecepatan Pada 7Km/jm Dengan Kontrol.....	78
Gambar 4. 50 Grafik RPM Motor BLDC Pada 7Km/jm Dengan Kontrol	79
Gambar 4. 51 Grafik RPM Mesin Pada 7Km/jm Dengan Kontrol	79
Gambar 4. 52 Grafik Ampere Pada 7Km/jm Dengan Kontrol.....	80
Gambar 4. 53 Grafik Voltase Pada 7Km/jm Dengan Kontrol	80
Gambar 4. 54 Grafik <i>Throttle</i> Pada 7Km/jm Dengan Kontrol	81
Gambar 4. 55 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 7Km/jm Dengan Kontrol	81
Gambar 4. 56 Grafik Keceptan Pada 9Km/jm Tanpa Kontrol.....	82
Gambar 4. 57 Grafik RPM Motor BLDC Pada 9Km/jm Tanpa Kontrol.....	83
Gambar 4. 58 Grafik Ampere Pada 9Km/jm Tanpa Kontrol.....	83
Gambar 4. 59 Grafik Voltase Pada 9Km/jm Tanpa Kontrol.....	84
Gambar 4. 60 Grafik RPM Mesin Pada 9Km/jm Tanpa Kontrol	84
Gambar 4. 61 Grafik <i>Throttle</i> Pada 9Km/jm Tanpa Kontrol.....	85
Gambar 4. 62 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 9Km/jm Tanpa Kontrol.....	85
Gambar 4. 63 Grafik Kecepatan Pada 9Km/jm Dengan Kontrol.....	86
Gambar 4. 64 Grafik RPM Motor BLDC Pada 9Km/jm Dengan Kontrol	87
Gambar 4. 65 Grafik Ampere Pada 9Km/jm Dengan Kontrol.....	87
Gambar 4. 66 Grafik Voltase Pada 9Km/jm Dengan Kontrol	88

Gambar 4. 67 Grafik RPM Mesin Pada 9Km/jm Dengan Kontrol	88
Gambar 4. 68 Grafik <i>Throttle</i> Pada 9Km/jm Dengan Kontrol	89
Gambar 4. 69 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 9Km/jm Dengan Kontrol	89
Gambar 4. 70 Grafik Kecepatan Pada 11km/jm Tanpa Kontrol	90
Gambar 4. 71 Grafik RPM Motor BLDC Pada 11km/jm Tanpa Kontrol	91
Gambar 4. 72 Grafik RPM Mesin Pada 11km/jm Tanpa Kontrol	91
Gambar 4. 73 Grafik Ampere Pada 11km/jm Tanpa Kontrol	92
Gambar 4. 74 Grafik Voltase Pada 11km/jm Tanpa Kontrol	92
Gambar 4. 75 Grafik <i>Throttle</i> Pada 11km/jm Tanpa Kontrol	93
Gambar 4. 76 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 11km/jm Tanpa Kontrol	93
Gambar 4. 77 Grafik Kecepatan Pada 11km/jm Dengan Kontrol	94
Gambar 4. 78 Grafik RPM Motor BLDC Pada 11km/jm Dengan Kontrol	95
Gambar 4. 79 Grafik RPM Mesin Pada 11km/jm Dengan Kontrol	95
Gambar 4. 80 Grafik Ampere Pada 11km/jm Dengan Kontrol	96
Gambar 4. 81 Grafik Voltase Pada 11km/jm Dengan Kontrol	96
Gambar 4. 82 Grafik <i>Throttle</i> Pada 11km/jm Dengan Kontrol	97
Gambar 4. 83 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Pada 11km/jm Dengan Kontrol ...	97
Gambar 4. 84 Grafik Perbandingan Kecepatan Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 4km/jm	101
Gambar 4. 85 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 4Km/jm	102
Gambar 4. 86 Grafik Perbandingan RPM Mesin Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 4Km/jm	102
Gambar 4. 87 Grafik Perbandingan Ampere Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 4Km/jm	103
Gambar 4. 88 Grafik Perbandingan Voltase Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 4Km/jm	104
Gambar 4. 89 Grafik Perbandingan <i>Throttle</i> Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 4Km/jm	104
Gambar 4. 90 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 4Km/jm	105
Gambar 4. 91 Grafik Perbandingan Kecepatan Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 5km/jm	106
Gambar 4. 92 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 5Km/jm	107
Gambar 4. 93 Grafik Perbandingan RPM Mesin Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 5Km/jm	107
Gambar 4. 94 Grafik Perbandingan Ampere Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 5 Km/jm	108
Gambar 4. 95 Grafik Perbandingan Voltase Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 5Km/jm	108
Gambar 4. 96 Grafik Perbandingan <i>Throttle</i> Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 5Km/jm	109
Gambar 4. 97 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 5Km/jm	109

Gambar 4. 98 Grafik Perbandingan Kecepatan Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 7km/jm.....	111
Gambar 4. 99 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 7Km/jm.....	111
Gambar 4. 100 Grafik Perbandingan RPM Mesin Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 7Km/jm.....	112
Gambar 4. 101 Grafik Perbandingan Ampere Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 7Km/jm.....	112
Gambar 4. 102 Grafik Perbandingan Voltase Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 7Km/jm.....	113
Gambar 4. 103 Grafik Perbandingan Throttle Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 7Km/jm.....	114
Gambar 4. 104 Grafik Perbandingan Bahan Bakar Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 7km/jm.....	114
Gambar 4. 105 Grafik Perbandingan Kecepatan Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 9Km/jm.....	116
Gambar 4. 106 Grafik Perbandingan Motor BLDC Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 9Km/jm.....	116
Gambar 4. 107 Grafik Perbandingan Ampere Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 9Km/jm.....	117
Gambar 4. 108 Grafik Perbandingan Voltase Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 9Km/jm.....	117
Gambar 4. 109 Grafik Perbandingan RPM Mesin Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 9Km/jm.....	118
Gambar 4. 110 Grafik Perbandingan Throttle Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 9Km/jm.....	118
Gambar 4. 111 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 9Km/jm.....	119
Gambar 4. 112 Grafik Perbandingan Kecepatan Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 11km/jm.....	121
Gambar 4. 113 Grafik Perbandingan RPM Motor BLDC Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 11km/jm	121
Gambar 4. 114 Grafik Perbandingan Ampere Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 11km/jm.....	122
Gambar 4. 115 Grafik Perbandingan Voltase Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 11km/jm.....	122
Gambar 4. 116 Grafik Perbandingan RPM Mesin Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 11km/jm.....	123
Gambar 4. 117 Grafik Perbandingan <i>Throttle</i> Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 11km/jm.....	123
Gambar 4. 118 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Tanpa dan Dengan Kontrol Pada 11km/jm	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya.....	5
Tabel 2. 2 Spesifikasi Motor ICE Zenoah.....	8
Tabel 4. 1 Pengujian Motor BLDC	47
Tabel 4. 2 Pengujian Sensor ACS758	51
Tabel 4. 3 Pengujian Sensor <i>Voltage Divide</i>	53
Tabel 4. 4 Pengujian Sensor Speed dengan Tachometer	55
Tabel 4. 5 Data hasil percobaan	127

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Istilah	133
Lampiran 2 Coding Kontrol Neural Network	133

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pelayaran merupakan kegiatan yang berada pada sektor laut, kegiatan ini sangat berpengaruh terhadap perekonomian dunia. Selain itu, pelayaran juga bertujuan untuk rekreasi, penelitian, ataupun militer. Kapal merupakan moda transportasi yang bekerja di lingkungan pelayaran.

Kapal yang ada di Indonesia sebagian besar masih berbahan bakar fosil. Karena minyak bumi adalah bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui maka kita harus memikirkan bahan penggantinya (Pustaka, 2014). Sedangkan jumlah kapal yang semakin bertambah menyebabkan kelangkaan bahan bakar dan tingginya jumlah emisi gas buang yang dihasilkan dari kapal(H. Saputra et al., 2018)

Dengan adanya permasalahan tersebut, inovasi dari sistem propulsi bisa menjadikan solusi dari kelangkaan bahan bakar dan pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh emisi gas buang. Salah satu inovasi sistem propulsi yang dapat digunakan sebagai penggerak kapal adalah sistem propulsi hibrida (Kurniawan et al., 2024). Dengan sistem propulsi hibrida ini Konsumsi bahan bakar dapat diminimalkan dengan menggunakan sistem penggerak hibrida yang menggabungkan sistem penggerak mekanis dan sistem penggerak listrik (Muhammad et al., 2019).

Untuk mengatur sistem propulsi tersebut, maka dibutuhkan suatu sistem kontrol yang dapat memudahkan pengendalian kestabilan kecepatan

kapal. Maka dari itu, sistem kontrol propulsi yang memiliki kemampuan untuk berfungsi secara stabil menjadi salah satu ide yang menarik untuk diteliti. Keadaan kapal yang bersifat non-linear yang disebabkan oleh naik turunnya gelombang dan kecepatan angin laut menjadikan salah satu sistem kontrol yang memiliki keunggulan dalam mengolah data yang bersifat non linear dan memiliki jumlah data yang banyak adalah Neural network (Azmi et al., 2020).

Penelitian ini dilakukan untuk membuat pengendalian kecepatan sistem propulsi hibrida kapal berbasis *neural network*. Sehingga nantinya diharapkan sistem kontrol propulsi hibrida berbasis *neural network* tersebut mampu mengontrol kestabilan kecepatan kapal dengan menggunakan salah satu atau kombinasi dari motor diesel dan motor BLDC (Azmi et al., 2020). Kapal yang digunakan pada penelitian ini adalah kapal jenis trimaran yang dari segi desain mendukung untuk sistem mesin propulsi hibrida. Dengan landasan teori dari sebelum sebelumnya sebagai peneliti ingin mengangkat judul Perancangan Sistem Kontrol Kecepatan Kapal Dengan Sistem Propulsi hibrida Berbasis *Neural network Method*.

B. RUMUSAN MASALAH

Dengan mempertimbangkan kondisi di atas mengenai perancangan sistem kontrol pada mesin hibrida menggunakan metode *neural network*:

1. Bagaimana cara merancang sistem kontrol pada mesin propulsi hibrida berbasis *neural network*?
2. Bagaimana kinerja sistem kontrol berbasis *neural network* dilakukan

dalam berbagai mode kecepatan dan kondisi ombak yang berbeda?

3. Bagaimana efektifitas perancangan sistem berbasis *neural network* pada mesin propulsi hibrida?

C. BATASAN MASALAH

Berdasarkan luasnya permasalahan dalam pembahasan penelitian ini, peneliti membatasi sebagai berikut.

1. Metode kontrol yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *neural network*.
2. Penelitian sistem hibrida ini menggunakan motor *ICE* dan motor BLDC.
3. Menggunakan sensor kecepatan IR *speed* untuk membaca *output* yang dihasilkan oleh motor *ICE* dan motor BLDC.
4. Kecepatan kapal terdapat 5 mode kecepatan yang terdiri dari mode pengintaian (4 km/jm), patroli lambat (5 km/jm), patroli cepat (7 km/jm), jelajah (9 km/jm) dan pengejaran (11 km/jm).
5. Mikrokontroler menggunakan STM32.
6. Data hasil pengujian disimpan dalam *internet of things*.
7. Perancangan sistem kontrol berbasis *neural network* ini diterapkan pada *prototype* kapal trimaran.
8. Pengujian hambatan menggunakan tinggi ombak dengan range rendah, sedang, dan tinggi, dari 6cm - 15cm diatas permukaan air.

D. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam naskah penulisan penelitian ini antara lain :

1. Untuk merancang model *neural network* untuk sistem kontrol pada mesin propulsi hibrida
2. Untuk mengetahui kinerja sistem kontrol berbasis *neural network* dilakukan dalam berbagai mode kecepatan dan kondisi ombak yang berbeda
3. Untuk mengetahui efektifitas sistem kontrol berbasis *neural network* pada mesin propulsi hibrida

E. MANFAAT PENELITIAN

Dengan adanya penelitian ini penelitiberharap akan bermanfaat bagi pembaca,Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

1. Pengembangan sistem kontrol menggunakan metode *neural network* bisa dijadikan referensi ataupun sebagai inspirasi sang pembaca.
2. Efisiensi konsumsi bahan bakar pada kapal dengan sistem propulsi hibrida dan kecepatan kapal dapat lebih stabil dengan adanya sistem kontrol berbasis *neural network*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. REVIEW PENELITIAN SEBELUMNYA

Adapun penelitian yang membahas tentang perawatan sistem pelumasan mesin induk sebelumnya oleh beberapa peneliti diantaranya :

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya
Sumber:(Azmi et al., 2020),(Subur & Suryadhi, 2022),(Chin et al., 2022)

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian	Perbedaan
1	MUHAMMAD AZMI NAUFAL MUNIF (Az mi et al., 2020)	Pengendalian Kecepatan Sistem Propulsi hibrida Pada Model Kapal Trimaran Berbasis <i>Neural network</i>	Hasil yang didapatkan berupa sistem kendali <i>neural network</i> yang mampu memberikan nilai <i>output</i> kendali dengan nilai error yang kecil saat diberikan nilai input tertentu dengan nilai rata-rata eror hasil validasi pada throttle motor <i>BLDC</i> , throttle motor bakar, dan total <i>output</i> power masing-masing adalah 0.0064%, 0.0036%, dan 0.0068%. Di sisi lain, berdasarkan kurva perbandingan antara kecepatan dan power <i>output</i> sistem propulsi hibrida, terdapat temuan penelitian yang menunjukkan bahwa peningkatan nilai <i>output</i> power yang dihasilkan tidak selalu diikuti dengan peningkatan kecepatan kapal.	penelitian ini mempunyai 5 mode diantaranya pengintaian, patrol lambat, patroli cepat, jelajah dan pengejaran bagaimana kapal pada mode patroli atau kecepatan lambat menggunakan motor <i>BLDC</i> sebagai penggerak kecepatan sedang menggunakan motor <i>ICE</i> sebagai penggerak dengan kondisi normal dan pada mode pengejaran menggunakan motor <i>BLDC</i> sebagai penunjang kecepatan kapal.
2	Suryadhi, Joko Subur, 2022	Pengaturan Kecepatan Motor Penggerak Propeller pada Kapal Menggunakan Metode PID dan MA Filter	Sistem kontrol PID dan Moving Average Filter yang dibuat untuk mengatur kecepatan laju kapal dapat bekerja dengan baik, berdasarkan hasil pengamatan data grafik respon kecepatan baca terhadap setpoint	Dalam penelitian sebelumnya sistem kontrol kecepatan motor menggunakan kontrol PID dan MA filter, sedangkan penelitiakan menggunakan metode <i>neural network</i> yang

No	Nama Peneliti	Judul	Hasil Penelitian	Perbedaan
			kecepatan yang diinginkan. Dengan adanya penambahan Moving Average Filter kecepatan laju kapal meningkat secara lambat dikarenakan kecepatan putar motor penggerak propeller juga meningkat secara lambat	digunakan pada sistem propulsi hibrida.
3	Cheng Siong Chin, Yan-Jie Tan, dan Mohan Venkatesh Kumar	Study of Hybrid Propulsion System for Lower Emissions Fuel Saving on Merchant Ship during Voyage	Pada jurnal ini membahas tentang pengoperasian mesin yang mempengaruhi kapal, konsumsi bahan bakar, dan gas emisi yang dihasilkan. Dengan menggunakan data konsumsi bahan bakar dari kapal, estimasi emisi yang dihasilkan dapat dicatat dengan rumus yang biasa digunakan. Dimana perhitungan menggunakan rumus yang digunakan, pengurangan emisi dapat mencapai 3,4 ton dan konsumsi bahan bakar tidak lebih dari 1 ton per kWh serta pengamatan pelayaran selama 12 hari.	Pada penelitian kali ini menggunakan prototype kapal trimaran sebagai objek penelitian, serta menggunakan metode neural network untuk menstabilkan kecepatan prototype kapal sesuai setpoint yang diinginkan.

Review jurnal pada tabel 2.1 terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian yang diambil. Dari beberapa jurnal yang dijadikan acuan dapat disimpulkan bahwa dalam jurnal pertama mengenai pengendalian kontrol kecepatan kapal berbasis *neural network*, jurnal kedua mengenai pengaturan kecepatan motor dengan metode PID dan MA filter, dan jurnal ketiga mengenai pengoperasian mesin agar mencapai estimasi emisi bahan bakar. Dari ketiga jurnal tersebut peneliti menciptakan perancangan sistem kontrol kecepatan kapal dengan sistem propulsi hibrida.

B. LANDASAN TEORI

Landasan landasan teori yang berkaitan dengan perancangan sistem kontrol kecepatan kapal dengan sistem propulsi hibrida berbasis *neural network* yang diangkat oleh peneliti sebagai berikut:

1. Sistem propulsi hibrida

Sistem propulsi hibrida merupakan penemuan inovasi terbaharukan dari sistem propulsi (Azmi et al., 2020). Hal ini sangat diperlukan untuk kebutuhan saat ini dimana dengan jumlah kapal yang melimpah dan banyaknya emisi gas buang yang dihasilkan oleh kapal kapal yang menggunakan sistem propulsi konvensional.

Sistem propulsi hibrida juga sangat berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar pada kapal. Konsumsi bahan bakar terendah dapat dicapai dengan menggunakan sistem propulsi hibrida yang mengkombinasikan sistem propulsi mekanik (mesin diesel) dan sistem propulsi elektrik (motor BLDC induksi).

2. Motor Internal Combustion Engine (ICE)

Motor yang digunakan untuk sistem propulsi hibrida adalah motor *ICE* zenoh. motor ini memiliki volume langkah yakni 29,5cc dan termasuk jenis motor 2 langkah, dimana pada motor 2 langkah hanya membutuhkan 2 langkah piston atau satu putaran poros engkol untuk menghasilkan tenaga. Pada motor type ini tidak terdapat valve atau katup seperti pada motor 4 langkah (Dharma et al., 2019). Motor *ICE Zenoh* memiliki spesifikasi yang begitu baik seperti dalam table 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Motor ICE Zenoah
 Sumber: <https://www.tokopedia.com>

Spesifikasi mesin rc boat zenoah	
<i>Cylinder displace</i>	25.4cm ³
<i>Cylinder bore</i>	34mm
<i>Cylinder stroke</i>	28mm
<i>weight</i>	1,6 kg
<i>Power output</i>	2.9 HP



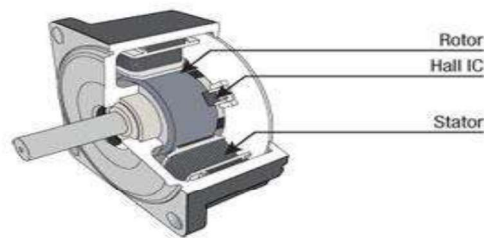
Gambar 2. 1 Motor ICE Zenoah
 Sumber: <https://www.tokopedia.com/almirosa/>

Kekuatan mesin *zenoah* dikenal menghasilkan torsi dan tenaga yang sangat baik, yang memungkinkan kapal melaju dengan kecepatan tinggi dan tetap stabil. Mesin ini dapat memberikan daya dorong yang besar, yang sangat penting untuk kapal yang lebih besar atau yang membutuhkan kinerja maksimal.

3. Motor Brushless Direct Current (BLDC)

Pemilihan motor BLDC untuk sistem propulsi hibrida sendiri menggunakan motor *BLDC*. Pada dasarnya motor *BLDC* bekerja dengan menggunakan prinsip gaya tarik antara dua magnet yang berlainan kutub atau gaya tolak antara dua magnet dengan kutub yang sama (Akbar &

Riyadi, 2019). 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.



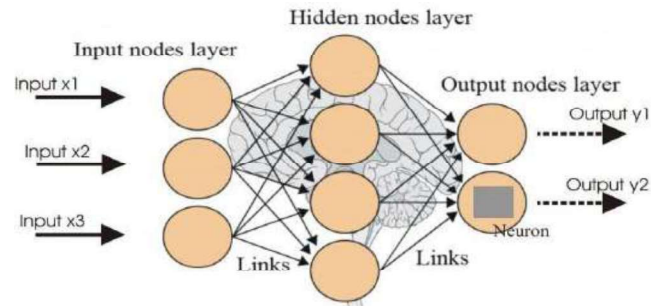
Gambar 2. 2 Kontruksi Motor *BLDC*

Sumber: <https://onexperience.wordpress.com/>

Motor *BLDC* mempunyai efisiensi dalam segi konsumsi energi. Efisiensi tinggi ini mengurangi konsumsi energi dan menghasilkan lebih sedikit panas, yang membuat motor *BLDC* ideal untuk aplikasi yang memerlukan penggunaan daya yang efisien. Salah satu kelebihan motor *BLDC* juga lebih halus dan tenang dalam operasionalnya.

4. Neural Network Method

Dalam perencanaan inovasi baru pasti dibutuhkan metode metode kontrol untuk menyempurnakan hasil atau *output* dari penelitian. Metode *neural network* merupakan salah satu metode kontrol yang keunggulannya dapat memproses banyak input sekaligus atau input yang bersifat non-linear (Azmi et al., 2020). Sehingga *neural network* ini cocok digunakan sebagai basis sistem pengendalian propulsi hibrida yang memiliki banyak input yang bersifat *non linear*.



Gambar 2. 3 Diagram *Neural Network*

Sumber: <https://www.ertops2021.com/?>

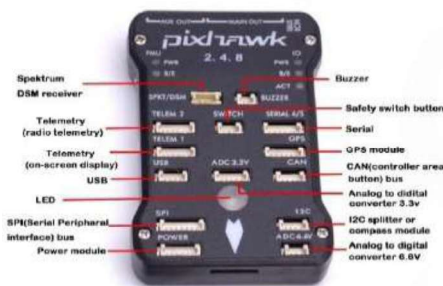
Pada gambar 2.3 *Neural network* terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan yang saling terhubung dan bekerja secara paralel untuk memecahkan suatu masalah tertentu. Di sisi lain, komputer konvensional menggunakan pendekatan kognitif untuk memecahkan masalah; dimana cara pemecahan masalah haruslah sudah diketahui sebelumnya untuk kemudian dibuat menjadi beberapa instruksi kecil yang terstruktur. Instruksi ini kemudian dikonversi menjadi program komputer dan kemudian ke dalam kode mesin yang dapat dijalankan oleh komputer.

Neural network mempunyai berbagai jenis yang digunakan sebagai sistem kontrol, masing masing jenis *neural network* mempunyai cirikhas masing masing. Pada penerapan dikapal yang bersifat non-linear, sistem kontrol *neural network* yang digunakan adalah *Radial Basis Function (RBF)*. RBF mempunyai pengertian jaringan saraf yang digunakan untuk memperkirakan fungsi *non-linear* dari sistem. Ini sering digunakan dalam kontrol yang memerlukan pendekatan berbasis fungsi untuk mengatasi *non-linieritas*.

5. PIXHAWK

Pixhawk merupakan salah satu perangkat keras yang paling digunakan saat ini untuk kontrol penerbangan drone (Faiz et al., 2022). *Pixhawk* dibuat untuk menambah keandalan dan membuat integrasi menjadi lebih mudah dengan fitur-fitur canggih didalamnya. Keuntungan dari system Pendahulu dari perangkat keras ini adalah Arduipilot. Dengan spesifikasi Dual Processor serta sistem komputasi yang kuat didukung oleh 32 bit STM32F427 Cortex M4 256 MHz, 168 KB RAM, 2 MB flash bit processor.

Jenis *Pixhawk* juga bermacam-macam salah satunya *Pixhawk* sebuah platform autopilot open-source yang digunakan untuk mengontrol dan mengelola penerbangan pesawat tanpa awak (UAV) atau drone. *Pixhawk* merupakan model yang lebih baru dan lebih canggih dari *Pixhawk* generasi sebelumnya, dan dirancang untuk memberikan performa yang lebih baik, stabilitas, dan fleksibilitas bagi pengendalian drone.



Gambar 2. 4 *PIXHAWK*

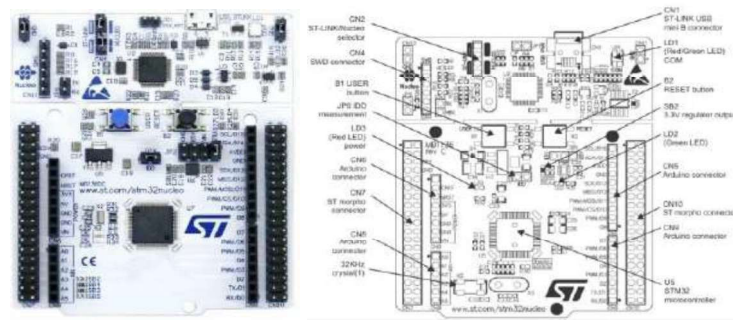
Sumber: <https://www.amazon.co.uk/Readytosky-Pixhawk-Controller-Autopilot-Splitter/dp/B07CHQ7SZ4>

6. STM-32 ARM Cortex-M

STM32 ARM Cortex-M merupakan mikrokontroler yang diproduksi oleh STMicroelectronics dengan 32-bit RISC ARM Cortex-M processor

dan memiliki clock frekuensi mulai dari 32 MHz sampai 400 MHz (Hilmi et al., 2018). Selain itu, STM32 juga dilengkapi dengan berbagai fitur koneksi seperti USB, Ethernet, dan Bluetooth, membuatnya sangat cocok untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan koneksi yang stabil dan cepat.

Mikrokontroler STM32 ARM Cortex-M dapat diaplikasikan pada sistem mikrokontroler yang lebih kompleks, kinerja tinggi serta efisiensi daya yang digunakan.



Gambar 2. 5 STM 32

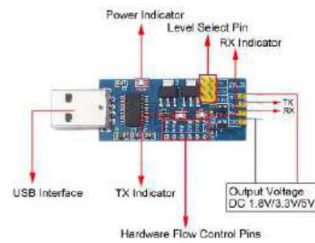
Sumber: <https://components101.com/microcontrollers/stm32-nucleo-f401re-pinout-datasheet>

7. Transistor -Transistor logic (TTL)

Perangkat *universal serial bus* (USB) to TTL merupakan salah satu jenis kabel converter yang mengkonversi data dari usb ke serial (Trihantoro et al., 2014). Kabel USB to TTL ini memungkinkan pengguna untuk membuat perangkat elektronika mikrokontroller nya dapat berkomunikasi. USB to TTL memiliki keluaran berupa *Vcc*, *transmitter*, *receiver*, dan *ground*.

USB to TTLbiasanya mendukung transfer data dengan kecepatan yang cukup tinggi untuk kebanyakan aplikasi seperti pemrograman atau pengujian perangkat berbasis mikrokontroller. USB to TTL juga sangat

mudah diintegrasikan ke dalam proyek DIY atau prototipe. Hal ini memudahkan para pengembang perangkat keras untuk menghubungkan berbagai perangkat tanpa memerlukan koneksi rumit atau pengetahuan mendalam tentang komunikasi serial.



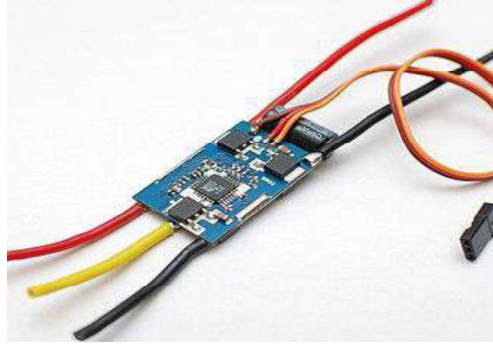
Gambar 2. 6 USB to TTL

Sumber: <https://id.aliexpress.com/item/1005004858248906.html>

8. (Electronic Speed Control) ESC

ESC adalah rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pengontrol kecepatan motor untuk pesawat RC atau helikopter RC Anda (Lorenza, 2019). Cara kerjanya adalah penerima mengubah sinyal yang diterimanya dari pemancar. Ada berbagai merek ESC di pasaran dengan peringkat arus dan tegangan berbeda serta fitur yang ditawarkan.

ESC memungkinkan kontrol kecepatan motor dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hal ini sangat krusial dalam aplikasi seperti *drone*, kendaraan RC, dan robot, di mana pengaturan kecepatan motor yang tepat dapat memengaruhi kinerja dan kestabilan sistem.

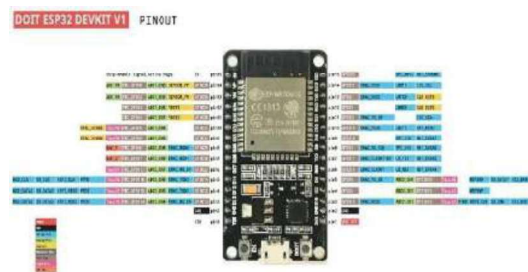


Gambar 2. 7 Electronic *Speed* Kontrol

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_kontrol

9. ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler System-on-Chip (SoC) berdaya rendah dan berkinerja tinggi yang dikembangkan oleh Espressif Systems. ESP32 dianggap lebih unggul dibandingkan mikrokontroler lain seperti Arduino Uno dan Esp8266 karena kecepatan pemrosesan yang lebih tinggi serta konsumsi daya yang lebih efisien (M. J. Saputra & Suryono, 2024). Dikenal karena kemampuannya dalam mengintegrasikan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth secara *on-chip*, ESP32 telah menjadi pilihan populer untuk berbagai aplikasi Internet of Things (IoT), sistem tertanam, dan proyek yang membutuhkan konektivitas nirkabel yang ringkas dan efisien.



Gambar 2. 8 ESP 32

Sumber: <https://suisbiyanto.medium.com/>

10. Baterai

Baterai adalah perangkat elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik melalui reaksi redoks. Baterai telah menjadi komponen kunci dalam berbagai aplikasi teknologi modern, termasuk perangkat elektronik konsumen, kendaraan listrik, pesawat tanpa awak, dan berbagai sistem penyimpanan energi (Utomo et al., 2024). Peran baterai sangat krusial dalam perangkat elektronik portabel, sistem cadangan daya, kendaraan listrik, dan berbagai aplikasi lain yang memerlukan sumber energi mandiri tanpa terhubung langsung ke sumber listrik utama.



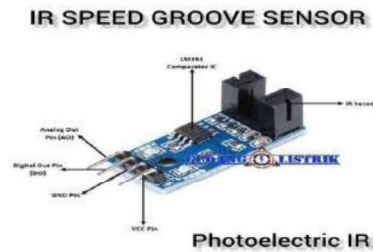
Gambar 2. 9 Baterai

Sumber: <https://www.blibli.com/jual/baterai-li-po>

11. 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 2.2 Bentuk Photodiode *Speed Sensor*

Sumber: *IR Speed Sensor* – Mencari Gambar (bing.com)

12. Sensor Flowmeter

Flowmeter juga dikenal sebagai *magnetic flow meter* ketika fluida mengalir melalui pipa transduser, fluida tersebut bertindak sebagai konduktor yang memotong medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan magnetik dan transduser (Sandi et al., 2022). Akibatnya, tegangan listrik induksi terjadi. *Water flow* sensor terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu bodi katup yang terbuat dari bahan kuningan, 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 untuk mengukur jumlah aliran fluida yang mengalir baik dalam bentuk cairan, gas atau uap. Dalam prosesnya, fluida

akan melewati perangkat *flowmeter* dan selanjutnya alat ini 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 2.10 Sensor Flowmeter

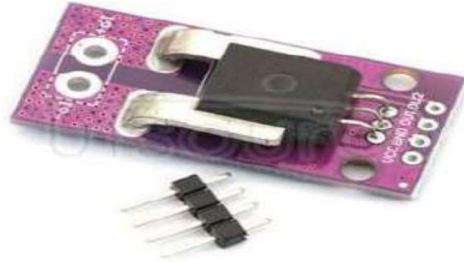
Sumber : <https://images.app.goo.gl/nBAPY6GpK3vYqb5o9>

13. Sensor ACS758

Sensor arus ACS758 adalah modul yang dirancang untuk mengukur arus listrik, baik arus DC maupun arus AC, dengan menggunakan prinsip *efect 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. 11 Sensor ACS758

Sumber : <https://id.scribd.com/document/et-pdf>

14. 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/>

15. Kapal Trimaran

Kapal Trimaran merupakan kapal yang mempunyai 3 lambung, yaitu satu main hull dan dua side-hull atau disebut juga outriggers sehingga mempunyai nilai stabilitas yang tinggi (Samuel; Sisworo, 2013). Secara umum kapal Trimaran adalah sama dengan kapal lainnya. Hanya saja kapal ini lebih efisien dan lebih efektif dari kapal yang ada.

Adapun beberapa kelebihan yang dimiliki atau diberikan kapal yang memiliki bentuk lambung. Keuntungan kapal trimaran meliputi kestabilan kapal lebih baik, kecepatan kapal tinggi, lebih efisien penggunaan bahan bakar.

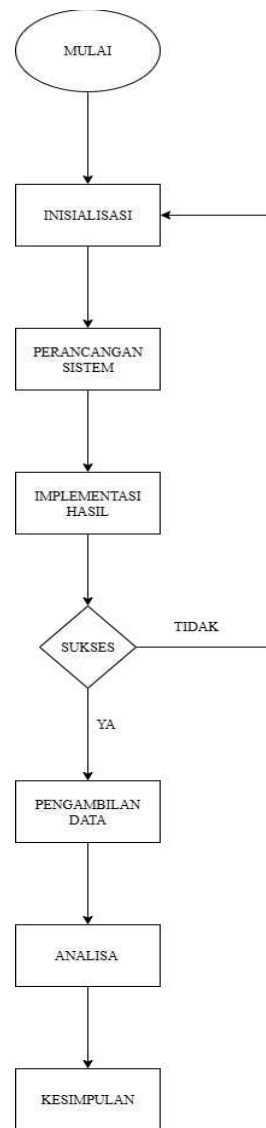


Gambar 2. 13 Konfigurasi Kapal Trimaran

Sumber: <https://beritahankam.blogspot.com/>

C. KERANGKA BERPIKIR

Kerangka berfikir dibawah ini dibuat untuk mempermudah tahapan-tahapan penelitidalam melaksanakan penelitian. Demikian kerangka berfikir penelitidituangkan pada gambar 2.14



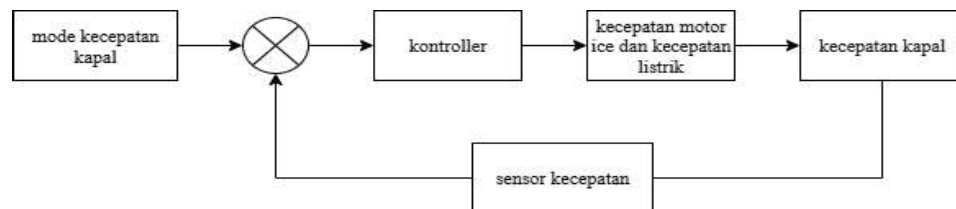
Gambar 2. 14 Kerangka Berfikir
Sumber Dokumen Pribadi

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini, akan dijelaskan secara rinci mengenai metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini. Metode penelitian ini memiliki alur yang akan dijelaskan mengenai perancangan sistem, perancangan alat, dan pengujian secara dinamis atas statis dengan disusun secara sistematis dan terukur. Peneliti menggunakan metode penelitian eksperimen untuk bertujuan menghasilkan alat yang dapat diujikan. Metode eksperimen bertujuan untuk meneliti hubungan sebab-akibat dengan cara memanipulasikan satu atau beberapa variable dalam sebuah kelompok eksperimen kemudian membandingkan hasilnya dengan kelompok kontrol yang merupakan kelompok tanpa perlakuan (Aulia, 2022).

A. PERANCANGAN SISTEM



Gambar 3. 1 Blok Diagram Perancangan Sistem
Sumber: Dokumen Pribadi

Pada blok diagram diatas, dijelaskan bahwa alur awal yang dilakukan adalah memilih mode kecepatan yang diinginkan atau bisa disebut *set point*. Setelah menentukan mode kecepatan yang diinginkan kontroler sebagai penerima target kecepatan kapal memproses apa yang sudah diterima. Setelah kontroler menerima dan memproses sinyal dari mode kecepatan tersebut, kontroler mengirim sinyal atau perintah kepada motor *BLDC* atau motor *ICE*

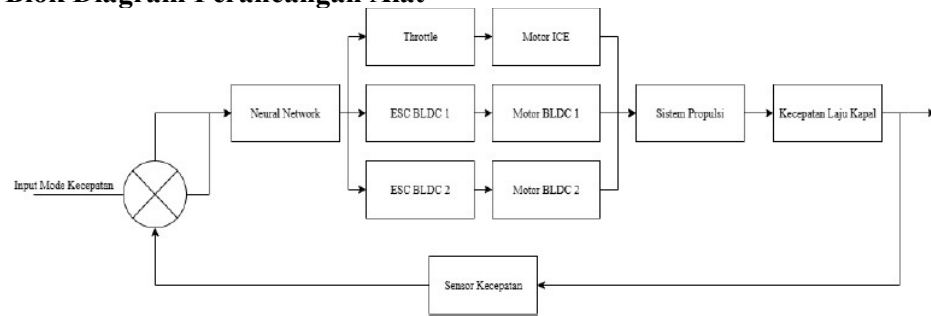
untuk memerintahkan sistem penggerak menghasilkan daya dorang sesuai dengan *set point* atau mode yang diterima dari kontroler. Dengan alur ini pengendalian kecepatan kapal dapat di peroleh.

Mode kecepatan yang dimaksud mempunyai 5 mode diantaranya, mode pengintaian, patroli lambat, patroli cepat, jelajah, dan juga pengejaran. Masing masing *mode* mempunyai akurasi masing masing. Input kecepatan sendiri mempunyai nilai yang mempengaruhi dari kinerja kontroler saat mengirim sinyal. Sistem penggerak motor *BLDC* akan bergerak pada mode pengintaian dan juga patroli lambat di range kecepatan lambat, dan motor *BLDC* akan berpindah ke motor *ICE* ketika pada mode patroli cepat dan jelajah di range kecepatan sedang Dan sistem propulsi hibrida dimana motor *BLDC* dan motor *ICE* menghasilkan daya dorong pada saat mode pengejaran di range kecepatan cepat. Dan sistem propulsi hibrida juga akan berfungsi jika pada saat terjadi hambatan dan menurunkan kecepatan dari *set point*.

B. PERANCANGAN ALAT

Perancangan alat adalah proses desain dan pengembangan alat, metode dan teknik untuk memperbaiki efisiensi (Elkington, 1996). Dalam sub bab ini akan menjelaskan lebih dalam alur perancangan alat sistem propulsi hibrida berbasis *neural network*. Diagram blok perancangan alat dapat dilihat pada gambar 3.2

1. Blok Diagram Perancangan Alat



Gambar 3. 2 Blok Diagram Perancangan Alat
Sumber: Dokumen Pribadi

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. *Input Mode Kecepatan*

Input mode kecepatan merupakan titik awal sistem, di mana pengguna menentukan kecepatan yang diinginkan berdasarkan lima mode operasi kapal, yaitu pengintaian, patroli lambat, patroli cepat, jelajah, dan pengejaran. Setiap mode ini memiliki karakteristik dan rentang kecepatan yang berbeda, yang akan menjadi acuan bagi sistem kontrol dalam mengatur kerja motor penggerak.

b. *Kontroler neural network*

Neural network bertindak sebagai pengendali utama dalam sistem ini. Dengan menerima *input* berupa nilai *error*, *neural network* akan memproses informasi tersebut menggunakan model jaringan saraf buatan untuk menghasilkan sinyal kendali yang tepat. *Output* dari *neural network* berupa tiga sinyal kontrol yang masing-masing diarahkan ke *throttle* motor ICE serta dua ESC untuk motor BLDC, sehingga memungkinkan sistem untuk menyesuaikan respon motor.

c. *Throttle*

Throttle menerima sinyal kendali dari *neural network* dan mengatur bukaan bahan bakar pada motor ICE (*Internal Combustion Engine*). Pengaturan ini menentukan seberapa besar daya yang dihasilkan oleh motor ICE, yang umumnya digunakan pada kecepatan menengah hingga tinggi atau ketika kapal mengalami beban berat seperti hambatan ombak.

d. Motor ICE

Motor ICE merupakan penggerak berbahan bakar bensin atau solar yang digunakan dalam sistem propulsi hibrida kapal. Motor ini memberikan daya dorong utama pada saat kapal berada dalam mode kecepatan sedang hingga tinggi, serta berperan penting saat dibutuhkan tenaga besar untuk mengatasi hambatan.

e. ESC BLDC 1

ESC (*Electronic Speed Controller*) berfungsi untuk mengatur kecepatan motor BLDC berdasarkan sinyal PWM yang diterima dari *neural network*. ESC BLDC 1 mengendalikan Motor BLDC 1, dan bertanggung jawab terhadap seberapa cepat motor akan berputar dalam merespon kebutuhan laju kapal.

f. Motor BLDC 1

Motor BLDC (*Brushless DC*) digunakan sebagai penggerak listrik utama dalam sistem ini. Motor bekerja secara efisien pada kecepatan rendah dan juga berfungsi sebagai motor bantu pada kecepatan tinggi. Motor BLDC 1 akan dikontrol dengan ESC BLDC 1.

g. *ESC BLDC 2*

ESC (*Electronic Speed Controller*) berfungsi untuk mengatur kecepatan motor BLDC berdasarkan sinyal PWM yang diterima dari *neural network*. ESC BLDC 2 mengendalikan Motor BLDC 2, dan bertanggung jawab terhadap seberapa cepat motor akan berputar dalam merespon kebutuhan laju kapal.

h. *Motor BLDC 2*

Motor BLDC (*Brushless DC*) digunakan sebagai penggerak listrik utama dalam sistem ini. Motor bekerja secara efisien pada kecepatan rendah dan juga berfungsi sebagai motor bantu pada kecepatan tinggi. Motor BLDC 2 akan dikontrol dengan ESC BLDC 2.

i. *Sistem Propulsi*

Sistem propulsi merupakan bagian yang menggabungkan seluruh daya dorong yang dihasilkan oleh motor ICE dan motor BLDC. Sistem ini kemudian mentransfer tenaga tersebut ke air melalui propeller untuk menghasilkan gerakan kapal. Keseimbangan antara output dari masing-masing motor sangat menentukan kestabilan dan efisiensi gerak kapal.

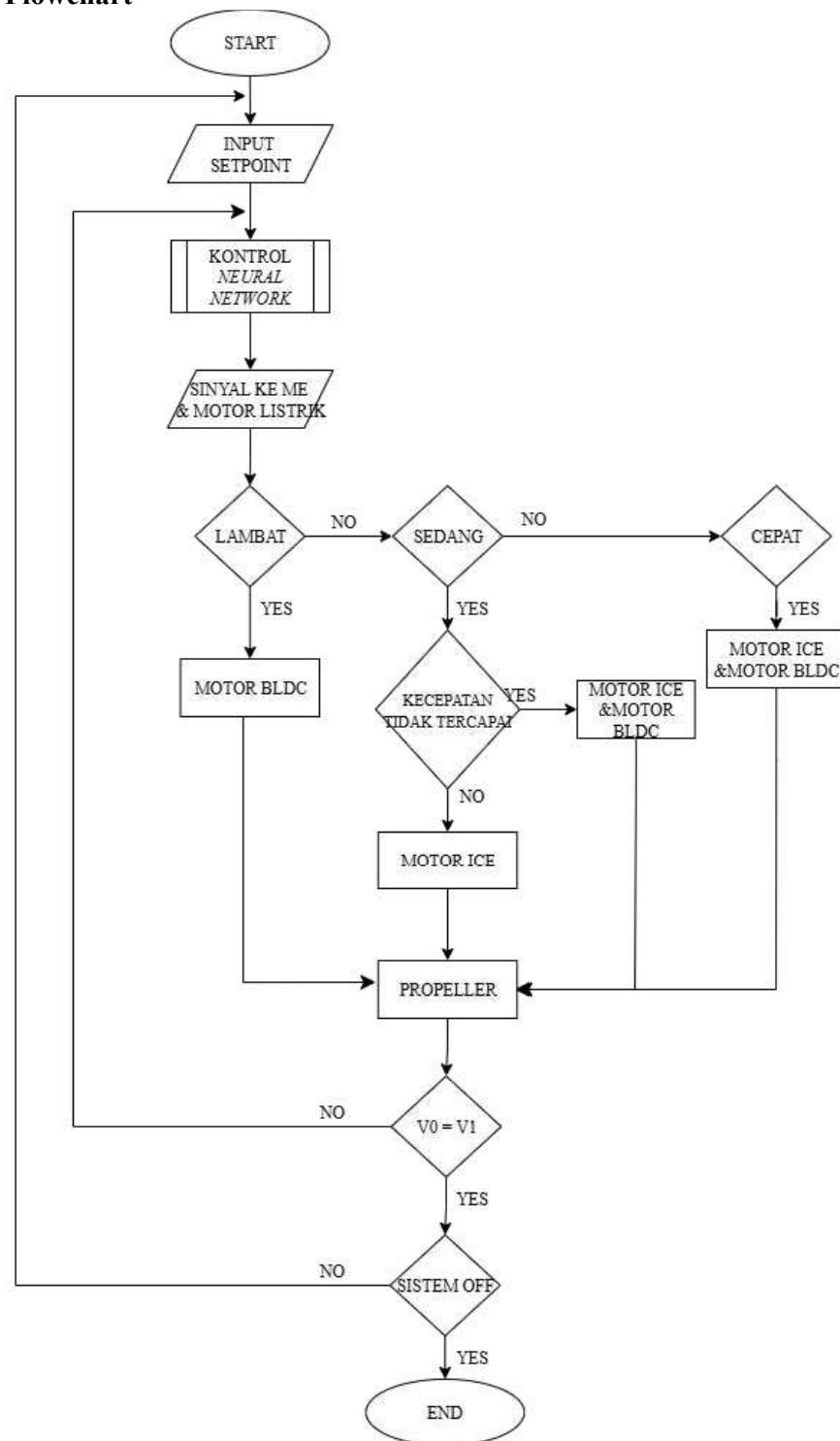
j. *Kecepatan Laju Kapal*

Kecepatan laju kapal merupakan *output* akhir dari sistem propulsi yang menunjukkan seberapa cepat kapal bergerak. Kecepatan ini dipengaruhi langsung oleh kinerja motor dan sistem kontrol, serta menjadi parameter utama yang dimonitor dalam proses evaluasi sistem.

k. Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan berfungsi untuk membaca kecepatan aktual kapal secara *real-time*. Nilai kecepatan ini kemudian dikirim kembali ke sistem sebagai umpan balik untuk menghasilkan error, sehingga sistem kontrol dapat terus melakukan penyesuaian terhadap kondisi aktual demi mencapai kecepatan yang stabil dan sesuai dengan *set point*.

2. Flowchart



Gambar 3. 3 *Flowchart*
 Sumber: Dokumen Pribadi

a. Perancangan *Neural Network*

Untuk menunjang sistem kontrol kecepatan kapal yang adaptif dan efisien, digunakan metode *Neural Network* (NN) sebagai sistem pengolah utama dalam merespons kondisi kecepatan aktual terhadap target yang telah ditentukan. NN ini diimplementasikan secara tertanam (*embedded*) ke dalam mikrokontroler STM32 dan bekerja secara *real-time*.

1) Dataset dan Klasifikasi Operasi

Data pelatihan *neural network* diperoleh dari pengujian sistem nyata, yang terdiri atas lima parameter utama: RPM motor BLDC 1 (RPM BLDC Kiri), RPM motor BLDC 2 (RPM BLDC Kanan), RPM 3 (RPM Mesin), kecepatan aktual (*speed*), dan target kecepatan. Berdasarkan konfigurasi operasi, data dikelompokkan menjadi tiga kelas utama:

- a) *BLDC Only* (target 4-5km/jm): hanya RPM 1 dan RPM 2 yang aktif
- b) *Engine Only* (target 7-9km/jm): hanya RPM 3 aktif
- c) *Hybrid* (target 11m/h): kombinasi BLDC dan ICE aktif

2) Arsitektur *Neural Network*

Model *neural network* yang digunakan memiliki arsitektur 5-8-3 *fully connected*, yang terdiri atas:

- a) *Input Layer* (5 neuron): target *speed*, *current speed*, RPM BLDC Kiri, RPM BLDC Kanan, dan RPM Mesin
- b) *Hidden Layer* (8 neuron): dibagi menjadi *pattern detector* (3

neuron) untuk mengenali konfigurasi motor dan *speed error processor* (5 neuron) untuk penyesuaian kecepatan

- c) *Output Layer* (3 neuron): masing-masing menghasilkan *adjustment* RPM untuk motor BLD Kiri, motor BLDC Kanan, dan Mesin ICE dalam rentang -200 hingga +200 RPM

Fungsi aktivasi yang digunakan adalah *sigmoid* untuk *hidden layer* dan *tanh* untuk *output layer* agar dapat memproses nilai positif dan negatif.

3) Proses Normalisasi Data

Untuk menjaga kestabilan pembelajaran, semua *input* dinormalisasi ke rentang 0–1 menggunakan metode *min-max normalization*, kemudian dilakukan *clamping* agar tidak keluar dari batas. Berdasarkan data pengujian aktual, rentang normalisasi ditentukan sebagai berikut:

- a) RPM BLDC Kiri dan RPM BLDC Kanan: 0-12.000RPM
- b) RPM Mesin: 0-13.000RPM
- c) Kecepatan: 3.5-12.3 km/jm
- d) Target Kecepatan: 4-23 km/jm

4) Training dan Validasi Model

Model dilatih menggunakan pendekatan *supervised learning* dengan konfigurasi sebagai berikut:

- a) *Learning Rate*: 0.001
- b) *Epoch*: 1.000

- c) *Validation split*: 20% dari dataset
- d) Algoritma: *backpropagation* dengan fungsi *loss* kuadrat

Evaluasi performa dilakukan berdasarkan:

- a) *Training loss*
- b) Akurasi dalam toleransi ± 50
- c) *Recognition rate* konfigurasi motor

5) Inisialisasi Bobot dan Bias

Inisialisasi dilakukan berdasarkan pemahaman domain:

- a) Neuron deteksi mode BLDC akan memiliki bobot positif untuk RPM BLDC Kiri dan RPM BLDC Kanan, serta bobot negatif terhadap RPM Mesin
- b) *Output motor engine* memiliki bobot tertinggi pada mode *Engine Only*, dan semua motor memiliki bobot aktif dalam mode *Hybrid*

6) Implementasi Pada Sistem STM32

Model *neural network* diekspor dalam bentuk kode C++ dan diintegrasikan ke sistem kontrol STM32. Setiap 500 ms, sistem membaca data sensor (kecepatan dan RPM), melakukan normalisasi, dan mengoperasikan fungsi *forward pass* untuk menentukan penyesuaian RPM yang dikirim ke motor melalui PWM atau kontrol servo. Sistem juga dilengkapi fitur:

- a) *Overshoot protection*: menghindari kecepatan melebihi target, lebih dari 3 km/jm
- b) *Fine control*: menjaga kestabilan saat mendekati *set point*

dengan penyesuaian maksimal $\pm 100\text{RPM}$

- c) *Fallback mode*: sistem akan beralih ke kontrol konvensional jika *output neural network* tidak valid

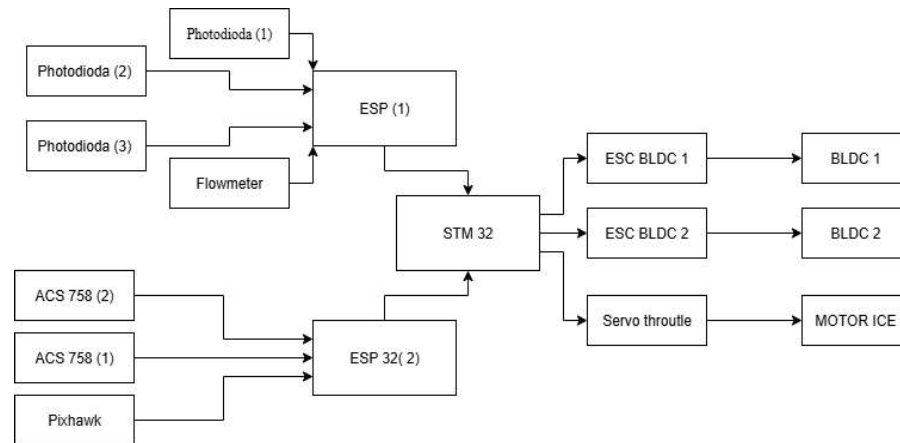
Untuk memperjelas alur kerja sistem kontrol secara keseluruhan, *flowchart* pada Gambar 3.3 menggambarkan proses logika dari setiap tahapan yang telah dijelaskan sebelumnya pada bagian perancangan *neural network*. Diagram ini menyatukan seluruh elemen kontrol mulai dari pemberian input hingga pengambilan keputusan kendali berbasis *neural network*.

Proses diawali dengan penentuan *set point* kecepatan sebagai input utama sistem. Nilai *set point* ini menjadi acuan bagi STM32 dalam menentukan respons kontrol. Ketika sistem berjalan, sensor *photodiode* membaca kecepatan aktual kapal secara periodik dan memberikan *feedback* berupa nilai RPM. Data ini kemudian dibandingkan dengan *set point* untuk menghasilkan nilai *error* kecepatan, yang menjadi masukan penting bagi model *neural network*.

Nilai *error* serta parameter lain seperti RPM motor BLDC kiri, BLDC kanan, dan RPM Mesin ICE, akan diproses oleh jaringan *neural network* di dalam STM32 untuk menghasilkan nilai *output power* berupa penyesuaian RPM. *Output* inilah yang akan dikirim ke ESC (untuk motor BLDC) atau ke servo *throttle* (untuk mesin ICE), yang kemudian mengatur kecepatan masing-masing aktuator.

Dengan demikian, *flowchart* menggambarkan seluruh proses pengambilan keputusan bersifat dinamis dan berulang secara *real-time*, di mana neural network berperan sebagai pusat kendali yang adaptif dalam menghasilkan kecepatan yang sesuai dengan *set point*.

3. Blok Diagram Alat



Gambar 3. 4 Blok Diagram Alat
Sumber: Dokumen Pribadi

Sistem kontrol propulsi hibrida yang ditunjukkan pada diagram dirancang untuk mengelola kecepatan kapal trimaran secara adaptif dengan memanfaatkan berbagai sensor, mikrokontroler, dan aktuator. Pusat dari sistem ini adalah mikrokontroler STM32, yang berperan sebagai otak pengendali utama. Semua sinyal dari sensor dan perintah ke aktuator diproses dan dikendalikan oleh STM32 secara *real-time*.

Untuk mendeteksi kecepatan rotasi motor, sistem menggunakan tiga sensor *photodiode* yang ditempatkan secara strategis. Sensor-sensor ini memberikan informasi akurat mengenai RPM dari motor BLDC maupun Mesin ICE. Selain itu, terdapat dua sensor arus ACS758 yang digunakan untuk membaca arus yang mengalir ke motor BLDC, sehingga sistem

dapat menilai beban kerja motor dan menganalisis efisiensi penggunaan daya listrik.

Informasi mengenai konsumsi bahan bakar dikumpulkan oleh sensor *flowmeter*, yang terhubung ke modul ESP32 (1). Modul ini bertugas sebagai perantara antara sensor-sensor *photodiode* dan *flowmeter* dengan STM32, mengirimkan data sensor secara berkala untuk dianalisis.

Sedangkan ESP32 (2) digunakan untuk komunikasi serial dengan Pixhawk, modul navigasi yang juga menangani transmisi data melalui jaringan LoRa atau telemetry visual. Pixhawk memungkinkan integrasi data lingkungan dan kontrol jarak jauh terhadap sistem kapal.

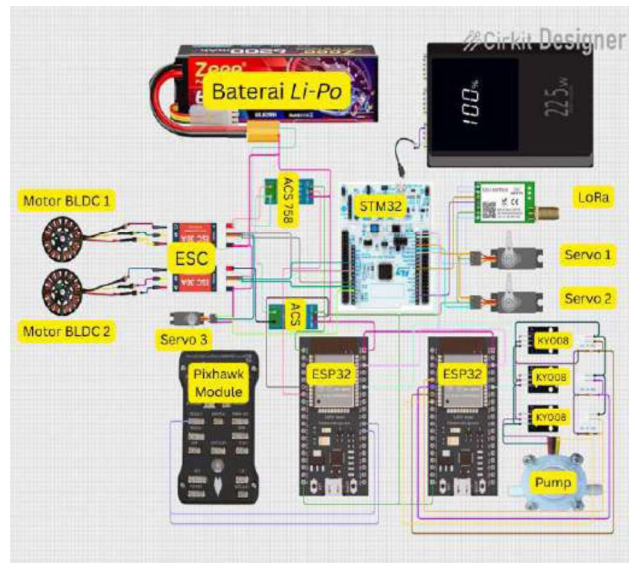
Output dari sistem *neural network* yang tertanam dalam STM32 diterjemahkan menjadi sinyal PWM yang dikirimkan ke berbagai aktuator. Dua ESC (*Electronic Speed Controller*) digunakan untuk mengatur kecepatan putar dari Motor BLDC Kiri dan BLDC Kanan, yang menjadi penggerak utama kapal saat beroperasi pada kecepatan rendah atau dalam mode *hybrid*. Selain itu, sinyal PWM juga dikirim ke servo *throttle* yang mengatur bukaan bahan bakar pada mesin ICE (*Internal Combustion Engine*). Motor ini aktif saat kapal memerlukan daya dorong lebih besar, terutama pada kecepatan sedang hingga tinggi, atau ketika menghadapi hambatan seperti gelombang.

Seluruh sistem ini bekerja secara terintegrasi untuk memastikan bahwa kapal dapat beroperasi secara efisien dan stabil dalam berbagai kondisi. *Neural network* memungkinkan sistem untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dan kebutuhan daya secara cerdas,

menjaga kecepatan kapal tetap mendekati *set point* dengan penggunaan energi yang optimal.

1. Wiring diagram

Pada sub bab ini dijelaskan tentang *wiring diagram*. Perancangan alat ini membutuhkan *wiring diagram* sebagai langkah dasar penting. *Wiring diagram* akan ditampilkan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Wiring Diagram
Sumber: Dokumen Pribadi

Dari *wiring diagram* diatas dapat dilihat komponen komponen dan sensor sensor yang saling terhubung. *Wiring diagram* sebagai acuan memudahkan peneliti dalam proses pembuatan alat tersebut. Sistem kontrol ini dimulai dari Pixhawk sebagai *hardware* penghubung dari sensor sensor dan komponen lain, dan peran STM 32 terhubung dengan sensor *photodiode* dan komponen lainnya berupa, motor BLDC dan juga mesin ICE sebagai penggerak utama.

Tabel 3. 1 PIN Mikrokontroler
Sumber: Dokumen Pribadi

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-G0B1RE
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-G0B1RE
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-G0B1RE
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-G0B1RE
27	Servo 3 (Throttle)	GND	GND (semua komponen GND)
28	Servo 3 (Throttle)	VCC	VCC (5V)
29	Servo 3 (Throttle)	PWM	A2 pada NUCLEO-G0B1RE
30	ACS758 Current Sensor 1	VCC	VCC (5V)
31	ACS758 Current Sensor 1	VCC	VCC (5V)
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	OUT	G34 pada ESP32 1

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
	Sensor 2		
38	EBYTE LoRa E220	GND	GND (semua komponen GND)
39	EBYTE LoRa E220	VCC	VCC (5V)
40	EBYTE LoRa E220	RXD	D8 pada NUCLEO-G0B1RE
41	EBYTE LoRa E220	TXD	D2 pada NUCLEO-G0B1RE
42	Lipo 6200mAh	+	VCC (5V)
43	Lipo 6200mAh	-	GND (semua komponen GND)
44	NUCLEO-G0B1RE	A0	Signal pada ESC 2
45	NUCLEO-G0B1RE	A1	Signal pada ESC 1
46	NUCLEO-G0B1RE	A2	PWM pada Servo 3 (Throttle)
47	NUCLEO-G0B1RE	Pin 12	PWM pada Servo 2 (Rudder)
48	NUCLEO-G0B1RE	Pin 13	PWM pada Servo 1 (Rudder)
49	NUCLEO-G0B1RE	5V	VCC (5V)
50	NUCLEO-G0B1RE	GND	GND (semua komponen GND)
51	NUCLEO-G0B1RE	D2	TXD pada EBYTE LoRa E220
52	NUCLEO-G0B1RE	D8	RXD pada EBYTE LoRa E220
53	NUCLEO-G0B1RE	SCL/D15	G22 pada ESP32 1
54	NUCLEO-G0B1RE	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-G0B1RE
60	ESP32 1	G21	SDA pada NUCLEO-G0B1RE
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
67	ESP32 2	G33	OUT pada Water Flow Rate Sensor
68	ESP32 2	G17	Telemetry (Serial) RX pada

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
			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

Penjelasan pin pada tabel 3.1.

1. *Battery VCC*: Pin suplai tegangan positif (biasanya 5V atau 12V) untuk ESC, motor, atau sensor.
2. *Battery GND / GND / GND out*: Jalur ground atau referensi tegangan negatif untuk semua perangkat, harus tersambung ke ground sistem.
3. M1, M2, M3: Tiga phase *output* dari ESC ke motor BLDC, digunakan untuk menggerakkan motor *brushless* secara sinkron.

4. *Signal*: Pin *input* sinyal PWM dari mikrokontroler untuk mengendalikan kecepatan motor atau posisi servo.
5. *PWM*: Pin keluaran PWM dari mikrokontroler ke aktuator (seperti ESC atau servo motor).
6. *OUT* (Sensor): Pin keluaran sinyal analog atau digital dari sensor, yang dikirim ke mikrokontroler atau modul pembaca (misalnya ESP32).
7. *TXD* (*Transmitter*): Pin serial untuk mengirim data dari suatu modul ke modul lain.
8. *RXD* (*Receiver*): Pin serial untuk menerima data dari modul lain.
9. *SCL* (*Serial Clock Line*): Jalur clock dalam komunikasi I2C.
10. *SDA* (*Serial Data Line*): Jalur data dalam komunikasi I2C.

C. RENCANA PENGUJIAN

Perancangan alat pastinya akan lebih matang dengan adanya pengujian dari alat yang dibangun. Rencana pengujian adalah salah satu cara untuk menemukan titik titik permasalahan. Untuk menemukan permasalahan alat ini penelitimenggunakan metode metode pengujian yang diantaranya adalah metode pengujian statis dan pengujian dinamis.

1. Rencana pengujian statis

Pengujian statis dilakukan sebagai langkah awal untuk memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem propulsi hibrida berfungsi dengan baik secara individual sebelum dirangkai menjadi satu sistem utuh. Setiap pengujian difokuskan pada validasi fungsional dasar dari komponen.

a. STM 32

Mikrokontroler STM32 diuji untuk memastikan bahwa fungsi *input* dan *output* digital berjalan sebagaimana mestinya. Pengujian dilakukan dengan menyalakan dan mematikan *LED* melalui pin PA5. Keberhasilan STM32 dalam merespons logika *HIGH* dan *LOW* secara akurat menunjukkan bahwa GPIO dan komunikasi *internal* berjalan stabil dan siap digunakan dalam sistem kontrol *neural network*.

b. ESP32

ESP32 diuji sebagai modul komunikasi data dan antarmuka pengiriman sinyal dari sensor ke STM32. Pengujian dilakukan dengan mengirim dan menerima data melalui koneksi *serial* (UART). Hasil pengujian harus menunjukkan bahwa ESP32 mampu mengirimkan data secara berurutan tanpa gangguan, yang menandakan fungsinya layak untuk diintegrasikan dalam sistem monitoring dan telemetry.

c. Motor *ICE Zenoah*

Motor *Internal Combustion Engine* (ICE) Zenoah diuji untuk mengetahui putaran *idle* (*stationary*) dan putaran maksimal. Pengujian dilakukan secara langsung melalui starter dan pengaturan *choke* dan *throttle*.

d. Motor *BLDC*

Pengujian motor BLDC bertujuan memverifikasi hubungan antara sinyal PWM dan kecepatan putaran. Pengujian dilakukan dengan memberikan input PWM bertahap dari 1.000 hingga 2.000 dan mencatat RPM aktual.

e. ESC

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*). Fokus utama pengujian ini adalah mengamati apakah terjadi aliran arus saat ESC diaktifkan. Jika arus terdeteksi sesuai ekspektasi saat sinyal diberikan dan motor BLDC berputar, maka ESC dianggap berfungsi dengan baik dalam kondisi statis.

f. Sensor ACS758

Pengujian sensor arus ACS758 dilakukan dengan mengalirkan arus melalui beban resistif dan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan AVO meter dan nilai teoritis berdasarkan hukum Ohm.

g. Sensor *Voltage divider*

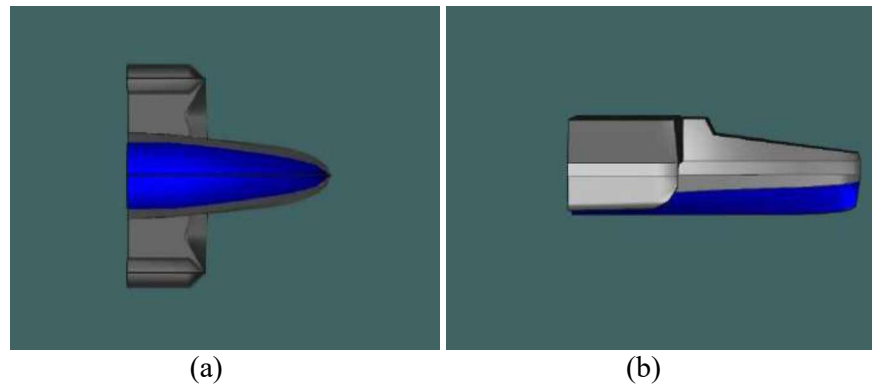
Pengujian sensor *voltage divider* dilakukan dengan memberi tegangan input 12V dan mencatat *output* yang dibaca oleh mikrokontroler (ditampilkan di LCD), nilai tersebut dibandingkan dengan AVO meter.

h. Sensor *Photodiode*

Pengujian sensor *photodiode* sebagai sensor pembaca *rpm* bertujuan untuk memastikan bahwa sensor *photodiode* dapat berguna dengan baik dengan cara memberikan pergerakan suatu objek reflektif pada sensor dan apabila sensor membaca dengan baik maka pengujian sensor ir *speed* dapat dikatakan sudah benar.

2. Rencana pengujian dinamis

Pengujian dinamis merupakan bagian dari rencana pengujian alat yang bertujuan mengetahui titik titik permasalahan secara menyeluruh. Pengujian ini akan dilakukan langsung oleh peneliti dan pengaplikasian sistem kontrol ini adalah pada *prototype* kapal trimaran menggunakan sistem propulsi hibrida.



Gambar 3. 6 *Prototype* Kapal Trimaran

(a)Tampak Bawah (b)Tampak Samping

Sumber: Dokumen Pribadi

Pengujian ini dengan cara mengerjakan kapal trimaran dengan mesin *Zenoah* sebagai motor *ICE* sesuai dengan *set point* yang diinginkan untuk menggerakkan kapal trimaran peran motor BLDC sebagai penggerak dimana *set point* yang diinginkan adalah kecepatan lambat. Dan jika *set point* yang diinginkan kecepatan sedang maka penggerak kapal trimaran akan berganti pada mesin ICE. Kemudian sistem propulsi hibrida atau penggerak kapal trimaran menggunakan motor ICE dan motor BLDC akan menyala pada kecepatan cepat, dan juga Ketika pada posisi mesin ICE bekerja sendiri dan mengalami hambatan ombak, motor BLDC akan bekerja membantu untuk mengembalikan kecepatan sesuai *set point*. Pengujian hambatan ombak dilakukan dengan 3 *range* ketinggian, untuk

ketinggian (± 2 centimeter) tergolong kondisi rendah, untuk kondisi sedang tinggi ombak (± 6 centimeter), dan untuk kondisi tinggi (± 15 centimeter).