

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA
KAPAL *TRIMARAN* BERBASIS *SLIDING MODE CONTROL***



NI KADEK SRI PRAMESWARI
0921015203

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

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA
KAPAL *TRIMARAN* BERBASIS *SLIDING MODE CONTROL***



NI KADEK SRI PRAMESWARI
0921015203

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 bertandatangan di bawah ini:

Nama : Ni Kadek Sri Prameswari
Nomor Induk Taruna : 09.21.015.2.03
Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA KAPAL TRIMARAN BERBASIS *SLIDING MODE CONTROL*

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri.

Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 08 Agustus 2025



Ni Kadek Sri Prameswari
NIT. 09.21.015.2.03

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA
KAPAL *TRIMARAN* BERBASIS *SLIDING MODE*
CONTROL

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : NI KADEK SRI PRAMESWARI

NIT : 09.21.015.2.03

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan


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


Surabaya, ~~21~~ Desember 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


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


(DITYAH PURWITASARI, S. Psi., S.Si., MM)
NIP. 198310092010122002

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


(AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd.)
NIP. 19800517200502103

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA
KAPAL *TRIMARAN* BERBASIS *SLIDING MODE*
CONTROL

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : NI KADEK SRI PRAMESWARI

NIT : 09.21.015.2.03

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan


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

Surabaya, 30 Juli 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


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


(DIYAH PURWITASARI, S, Psi., S.Si., MM)
NIP. 198310092010122002

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal


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

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA KAPAL
TRIMARAN BERBASIS *SLIDING MODE CONTROL***

Disusun oleh:

NI KADEK SRI PRAMESWARI

NIT. 09.21.015.2.03

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

Surabaya, Juli 2025
Mengesahkan,

Penguji I



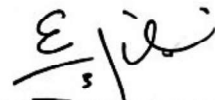
(HENNA NURDIANSARI, ST., M.T., M.Sc.)
NIP. 198512112009122003

Penguji II



(AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd.)
NIP. 19800517200502103

Penguji III



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

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



(DIRHAMEYAH, S.E, M.Pd)
NIP. 197504302002121002

PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA KAPAL
TRIMARAN BERBASIS *SLIDING MODE CONTROL*

Disusun oleh:

NI KADEK SRI PRAMESWARI

NIT. 09.21.015.2.03

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

Surabaya, Juli 2025

Mengesahkan,

Penguji I



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

Penguji II



(AKHMAD KASAN GUPRON, M.Pd.)
NIP. 19800517200502103

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

NI KADEK SRI PRAMESWARI, Pengendalian Kecepatan Motor Listrik Pada Kapal *Trimaran* Berbasis *Sliding Mode Control*. Dibimbing oleh Edi Kurniawan, SST.MT. dan Diyah Purwitasari, S.Psi., S.Si., MM.

Kapal adalah sarana transportasi yang digunakan dalam aktivitas angkutan laut. Berbagai jenis kapal terus berkembang untuk memenuhi kebutuhan modern, salah satunya adalah kapal *trimaran*. Kapal *trimaran* adalah kapal dengan tiga lambung yang memiliki kecepatan lebih tinggi dan dianggap tidak mudah tenggelem. Adapun motor listrik yang digunakan yaitu motor *brushless* DC. Motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan motor *brushless* DC (BLDC) adalah salah satu jenis motor yang umum dalam industri. Motor BLDC efisien, mudah diatur kecepatannya, dan memiliki tingkat kebisingan yang rendah. Motor BLDC memiliki dua komponen, yaitu rotor dan stator, dengan rotor berputar karena medan magnet yang dihasilkan stator. Pada review jurnal, terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian penulis. Jurnal pertama, "Desain Konseptual *Hybrid Engine* System pada Kapal Tugboat 1636 HP", meneliti sistem *hybrid propulsion* untuk mengurangi BBM dan menggunakan baterai Mastervolt MLI ultra. Jurnal kedua, "Mengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa", menggunakan *sliding mode control* dengan *field oriented control*. Jurnal ketiga, "Kontrol Motor *Brushless* DC", meneliti kecepatan motor BLDC dan menggunakan kontrol PID. Penulis menggunakan sistem *hybrid propulsion* dan metode *sliding mode control*. Untuk mengatur kecepatan motor BLDC, dibutuhkan sistem kontrol dan berbagai jenis kontroler, termasuk metode *sliding mode control*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kontrol pengendalian kecepatan motor listrik pada kapal *trimaran* berbasis *sliding mode control*. Perancangan pengendalian kecepatan motor BLDC pada kapal *trimaran* menggunakan metode *Sliding Mode Control* (SMC) berhasil dilakukan dengan pendekatan kontrol *non-linier*. Metode ini menjaga kestabilan sistem berdasarkan *error* kecepatan. Pengendali diimplementasikan pada mikrokontroler STM32 untuk mengatur dua motor BLDC secara paralel. Kinerja pengendalian menunjukkan hasil yang sangat stabil dan efisien di berbagai kondisi gelombang, dengan selisih kecepatan yang kecil (± 3 hingga ± 15 RPM). Metode SMC terbukti efektif dalam menjaga konsumsi arus dan tegangan yang stabil. Pengujian menunjukkan komponen yang digunakan memiliki akurasi bagus dengan rata-rata *error* kurang dari 4%, serta sistem kontrol lebih stabil dibandingkan tanpa kontrol.

Kata Kunci : *Sliding Mode Control*, Kapal *Trimaran*, Motor *Brushless* DC.

ABSTRACT

NI KADEK SRI PRAMESWARI, Electric Motor Speed Control on Trimaran Ships Based on Sliding Mode Control. Supervised by Edi Kurniawan, SST.MT. and Diyah Purwitasari, S.Psi., S.Si., MM.

Ships are a means of transportation used in maritime activities. Various types of ships continue to develop to meet modern needs, one of which is the trimaran. A trimaran is a three-hulled vessel that has a higher speed and is considered less prone to sinking. The electric motor used is a brushless DC motor. Electric motors convert electrical energy into mechanical energy, and brushless DC (BLDC) motors are a common type of motor in industry. BLDC motors are efficient, easily controlled, and have low noise levels. BLDC motors have two components: a rotor and a stator, with the rotor rotating due to the magnetic field generated by the stator. The journal review found several differences with the author's research. The first journal, "Conceptual Design of Hybrid Engine System on a 1636 HP Tugboat", examines a hybrid propulsion system to reduce fuel consumption and uses a Mastervolt MLI ultra battery. The second journal, "Controlling the Speed of a 3-Phase Induction Motor", uses sliding mode control with field-oriented control. The third journal, "Control of Brushless DC Motors", examines the speed of BLDC motors and uses PID control. The authors use a hybrid propulsion system and a sliding mode control method. To regulate the speed of a BLDC motor, a control system and various types of controllers are required, including the sliding mode control method. This research aims to develop a sliding mode control method for controlling the speed of an electric motor on a trimaran vessel. The design of a BLDC motor speed control system on a trimaran vessel using the Sliding Mode Control (SMC) method was successfully implemented using a non-linear control approach. This method maintains system stability based on speed errors. The controller was implemented on an STM32 microcontroller to control two BLDC motors in parallel. The control performance demonstrated very stable and efficient results under various wave conditions, with small speed differences (± 3 to ± 15 RPM). The SMC method proved effective in maintaining stable current and voltage consumption. Tests showed the components used had good accuracy with an average error of less than 4%, and the control system was more stable than without the control.

Keywords : *Sliding Mode Control, Trimaran, Brushless DC Motor*

KATA PENGANTAR

Puja dan Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala limpah rahmat, kasih karunia dan berkat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul “PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR LISTRIK PADA KAPAL *TRIMARAN* BERBASIS *SLIDING MODE CONTROL*” Penelitian tugas akhir ini adalah dalam maksud untuk menyelesaikan program studi Sarjana Terapan di Politeknik Pelayaran Surabaya.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penyajian materi dan teknik penulisan dalam karya ilmiah terapan ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran untuk meningkatkan kualitas proposal ini.

Pada kesempatan ini penulis 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 Edi Kurniawan, S.ST.,M.T. dan Ibu Diyah Purwitasari, S.Psi., S.Si., MM. Selaku dosen pembimbing yang telah mendidik dengan baik dan sabar.
3. Bapak Dirhamsyah, S.E.,M.Pd. selaku Ketua Prodi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, yang telah mendukung jalannya penelitian ini.
4. Kedua Orang tua saya, I Wayan Sarjana Yasa dan Ni Putu Pusmawathi serta kakak dan adik saya Ni Putu Pradnya Swari dan Ni Nyoman Ayu Sevita Anandini, serta keluarga besar saya Edelweis Family terima kasih atas doa, cinta, dan kepercayaan atas segala pilihan dan keputusan yang diambil oleh penulis. Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan keberkahan bagi semua orang yang membaca tugas akhir penulis.
5. Seseorang yang tidak bisa disebutkan, terimakasih sudah menjadi tempat cerita, keluh kesah serta memberikan semangat, doa, dan dukungan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
6. Kepada sahabat sahabat saya yaitu Dina, Renita, Riska, Nindya, Yukyas dan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang sudah saya anggap seperti keluarga sendiri. Terimakasih sudah menjadi sahabat bagi penulis, pendukung, dan penyemangat dalam hal apapun.
7. Kepada kelompok peneliti yang terdiri dari aar, figo, zaqi, rahma, danton taufiq, dan fajar. Terimakasih sudah membantu jalannya penelitian ini. Sukses sampai ketemu lagi.

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

Surabaya, 31 Juli 2025

Ni Kadek Sri Prameswari

DAFTAR ISI

KARYA ILMIAH TERAPAN.....	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
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
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. Review Penelitian Sebelumnya	6
B. Landasan Teori	8
1. Motor Brushless DC	8
2. <i>Sliding Mode Control</i>	9

3. Sensor Tegangan DC (<i>Voltage Sensor Devider</i>)	10
4. Sensor <i>PhotoDioda</i>	11
5. Sensor Arus ACS758	12
6. STM32 ARM Cortex-M	12
7. Baterai <i>Lithium Polymer (LiPo)</i>	13
8. <i>Electronic Speed Control (ESC)</i>	14
9. Kapal <i>Trimaran</i>	15
10. <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	16
C. Kerangka Berfikir	17
BAB III METODE PENELITIAN	20
A. Perancangan Sistem	20
B. Perancangan Alat	21
1. Blok Diagram Perancangan Alat	22
2. <i>Flowchart</i>	24
3. <i>Blok Diagram Alat</i>	26
C. Rencana Pengujian	30
1. Rancangan Pengujian Statis	31
2. Rencana Pengujian Dinamis	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
A. Hasil Pengujian	28
1. Pengujian Statis	28
2. Pengujian Dinamis	46
B. Analisa Hasil	73
1. Pengujian Statis	73

2. Pengujian Dinamis	74
3. Kajian Produk Akhir	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	99
A. Kesimpulan	99
B. Saran	101
DAFTAR PUSTAKA.....	102

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Sebelumnya	6
Tabel 2. 2. Spesifikasi Motor BLDC.....	9
Tabel 2. 3. Spesifikasi Baterai <i>Lithium Polymer</i> (LiPo)	13
Tabel 2. 4. Spesifikasi Electronic Speed Control (ESC).....	14
Tabel 3. 1. Koneksi Komponen.....	29
Tabel 4. 1 <i>Pinout</i> STM32	29
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor ACS758.....	32
Tabel 4. 3 Pengujian ESC Segi RPM.....	38
Tabel 4. 4 Pengujian ESC Segi Tegangan.....	39
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor <i>Speed</i>	41
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Baterai Li-Po.....	44
Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Pengujian Dinamis.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor Brushless DC	9
Gambar 2. 2 Blok Diagram Sliding Mode Control	10
Gambar 2. 3. Sensor Tegangan DC (<i>Voltage Sensor Divider</i>)	11
Gambar 2. 4. Sensor <i>Photodiode</i>	11
Gambar 2. 5. Sensor Arus ACS758	12
Gambar 2. 6. Mikrokontroler STM32 ARM <i>Cortex-M</i>	13
Gambar 2. 7. Baterai <i>Lithium Polymer</i> (LiPo)	14
Gambar 2. 8. <i>Electronic Speed Control</i> (ESC)	15
Gambar 2. 9. Kapal <i>Trimaran</i>	16
Gambar 2. 10. <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD)	17
Gambar 2. 11. Kerangka berfikir	18
Gambar 3. 1 Blok Diagram Perancangan Sistem	21
Gambar 3. 2 Blok Diagram	22
Gambar 3. 3 Flowchart	24
Gambar 3. 4 Wiring Diagram	28
Gambar 3. 5 Prototype Kapal Trimaran	34
Gambar 4. 1 Pengujian STM32	29
Gambar 4. 2 Pengujian dengan Resistor 5.6 Ω Tunggal	30
Gambar 4. 3 Pengujian Menggunakan 2 Resistor 5.6 Ω Seri	31
Gambar 4. 4 Pengujian Motor BLDC dalam Kondisi <i>Off</i>	34
Gambar 4. 5 Pengujian Motor BLDC Kondisi <i>On</i>	34
Gambar 4. 6 Pengujian ESC	36
Gambar 4. 7 Pembacaan Serial Monitor	37
Gambar 4. 8 Pengujian Sensor Photodiode	41
Gambar 4. 9 Pengujian Baterai <i>Li-Po</i>	43
Gambar 4. 10 Pengujian Koneksi ESP32	45
Gambar 4. 11 Grafik RPM Set Point 6000 RPM tanpa Kontrol	47
Gambar 4. 12 Grafik Arus Set Point 6000 RPM tanpa Kontrol	47
Gambar 4. 13 Grafik Tegangan Set Point 6000 RPM tanpa Kontrol	48
Gambar 4. 14 Grafik Kecepatan Set Point 6000 RPM tanpa Kontrol	48

Gambar 4. 15	Grafik RPM Set Point 6000 RPM dengan Kontrol	49
Gambar 4. 16	Grafik Arus Set Point 6000 RPM dengan Kontrol	50
Gambar 4. 17	Grafik Tegangan Set Point 6000 RPM dengan Kontrol	50
Gambar 4. 18	Grafik Kecepatan Set Point 6000 RPM dengan Kontrol	51
Gambar 4. 19	Grafik RPM Set Point 7000 RPM tanpa Kontrol	52
Gambar 4. 20	Grafik Arus Set Point 7000 RPM tanpa Kontrol	53
Gambar 4. 21	Grafik Tegangan Set Point 7000 RPM tanpa Kontrol	53
Gambar 4. 22	Grafik Kecepatan Set Point 7000 RPM tanpa Kontrol	54
Gambar 4. 23	Grafik RPM Set Point 7000 RPM dengan Kontrol	55
Gambar 4. 24	Grafik Arus Set Point 7000 RPM dengan Kontrol	56
Gambar 4. 25	Grafik Tegangan Set Point 7000 RPM dengan Kontrol	56
Gambar 4. 26	Grafik Kecepatan Set Point 7000 RPM dengan Kontrol	57
Gambar 4. 27	Grafik RPM Set Point 8000 RPM tanpa Kontrol	58
Gambar 4. 28	Grafik Arus Set Point 8000 RPM tanpa Kontrol	58
Gambar 4. 29	Grafik Tegangan Set Point 8000 RPM tanpa Kontrol	59
Gambar 4. 30	Grafik Kecepatan Set Point 8000 RPM tanpa Kontrol	59
Gambar 4. 31	Grafik RPM Set Point 8000 RPM dengan Kontrol	60
Gambar 4. 32	Grafik Arus Set Point 8000 RPM dengan Kontrol	61
Gambar 4. 33	Grafik Tegangan Set Point 8000 RPM dengan Kontrol	61
Gambar 4. 34	Grafik Kecepatan Set Point 8000 RPM dengan Kontrol	62
Gambar 4. 35	Grafik RPM Set Point 9000 RPM tanpa Kontrol	63
Gambar 4. 36	Grafik Arus Set Point 9000 RPM tanpa Kontrol	63
Gambar 4. 37	Grafik Tegangan Set Point 9000 RPM tanpa Kontrol	64
Gambar 4. 38	Grafik Kecepatan Set Point 9000 RPM tanpa Kontrol	65
Gambar 4. 39	Grafik RPM Set Point 9000 RPM dengan Kontrol	66
Gambar 4. 40	Grafik Arus Set Point 9000 RPM dengan Kontrol	66
Gambar 4. 41	Grafik Tegangan Set Point 9000 RPM dengan Kontrol	67
Gambar 4. 42	Grafik Kecepatan Set Point 9000 RPM dengan Kontrol	67
Gambar 4. 43	Grafik RPM Set Point 10000 RPM tanpa Kontrol	68
Gambar 4. 44	Grafik Arus Set Point 10000 RPM tanpa Kontrol	69
Gambar 4. 45	Grafik Tegangan Set Point 10000 RPM tanpa Kontrol	69
Gambar 4. 46	Grafik Kecepatan Set Point 10000 RPM tanpa Kontrol	70

Gambar 4. 47	Grafik RPM Set Point 10000 RPM dengan Kontrol	71
Gambar 4. 48	Grafik Arus Set Point 10000 RPM dengan Kontrol	71
Gambar 4. 49	Grafik Tegangan Set Point 10000 RPM dengan Kontrol	72
Gambar 4. 50	Grafik Kecepatan Set Point 10000 RPM dengan Kontrol	72
Gambar 4. 51	Perbandingan nilai RPM motor 1 pada set point 6000 RPM	74
Gambar 4. 52	Perbandingan nilai RPM motor 2 pada set point 6000 RPM	75
Gambar 4. 53	Nilai arus pada set point 6000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2	76
Gambar 4. 54	Tegangan pada set point 6000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2	77
Gambar 4. 55	Grafik perbandingan nilai RPM pada set point 6000 RPM	78
Gambar 4. 56	Perbandingan nilai RPM motor 1 pada set point 7000 RPM	79
Gambar 4. 57	Perbandingan nilai RPM motor 2 pada set point 7000 RPM	80
Gambar 4. 58	Arus motor pada set point 7000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2 ...	81
Gambar 4. 59	Tegangan pada set point 7000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2	82
Gambar 4. 60	Grafik perbandingan nilai kecepatan pada set point 7000 RPM ..	83
Gambar 4. 61	Perbandingan nilai RPM motor 1 pada set point 8000 RPM	83
Gambar 4. 62	Perbandingan nilai RPM motor 2 pada set point 8000 RPM	84
Gambar 4. 63	Arus motor pada set point 8000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2 ...	85
Gambar 4. 64	Tegangan pada set point 8000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2	86
Gambar 4. 65	Perbandingan nilai kecepatan motor pada set point 8000 RPM ...	87
Gambar 4. 66	Perbandingan nilai RPM motor 1 pada set point 9000 RPM	87
Gambar 4. 67	Perbandingan nilai RPM motor 2 pada set point 9000 RPM	88
Gambar 4. 68	Arus motor pada set point 9000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2 ...	89
Gambar 4. 69	Tegangan pada set point 9000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2	90
Gambar 4. 70	Perbandingan nilai kecepatan motor pada set point 9000 RPM ...	91
Gambar 4. 71	Perbandingan nilai RPM motor 1 pada set point 10000 RPM	91
Gambar 4. 72	Perbandingan nilai RPM motor 2 pada set point 10000 RPM	92
Gambar 4. 73	Arus motor pada set point 9000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2 ...	93
Gambar 4. 74	Tegangan pada set point 10000 RPM (a) Motor 1 (b) Motor 2	94
Gambar 4. 75	Perbandingan nilai kecepatan motor pada set point 10000 RPM .	95

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pelayaran adalah segala sesuatu yang berkaitan dengan angkutan di perairan, kepelabuhan serta keamanan dan keselamatan yang berada pada sektor laut. Pelayaran sangat berpengaruh terhadap perekonomian dunia, pelayaran juga memiliki tujuan untuk penelitian, rekreasi, dan militer. Sarana transportasi yang digunakan untuk aktivitas angkutan laut yaitu kapal.

Kapal merupakan kendaraan di perairan yang beroperasi dengan berbagai bentuk dan jenis yang digerakan oleh tenaga mekanik, tenaga angin atau ditarik. Berbagai jenis kapal terus akan mengalami perkembangan untuk memenuhi kebutuhan operasional yang semakin modern. Salah satu inovasi desain kapal modern adalah kapal *trimaran*

Kapal *trimaran* adalah kapal *multi hull* yang memiliki lambung lebih dari satu lambung oleh karena itu *trimaran* berarti memiliki 3 buah lambung (Zain et al., 2018). Kelebihan dari kapal *trimaran* yaitu kecepatan kapal yang lebih besar dibandingkan dengan kapal *monohull*, desain kapal *trimaran* hampir dianggap tidak dapat tenggelam karena gaya apung pada salah satu kapal cukup menahan seluruh gaya apung kapal, kekurangannya yaitu pada saat kapal *trimaran* dipelabuhan memungkinkan kapal mengikuti angin dikarenakan kapal yang ringan, jika kapal *trimaran* terbalik maka akan lebih susah untuk mengembalikan legak kembali atau keposisi semula (Raden Mas Radhityo Naramurti, et al., 2016).

Pada kapal *trimaran* dapat menggunakan penggerak berupa mesin diesel ataupun dengan motor listrik, bahkan pada perkembangan teknologi di zaman sekarang penggerak kapal *trimaran* bisa menggunakan gabungan antara mesin diesel dan motor listrik. Dalam halnya motor listrik digunakan untuk penggerak kapal karena motor listrik lebih mudah dikontrol dengan berbagai sistem kontrol. Selain itu penggunaan motor listrik bertujuan untuk mengurangi penyumbangan polusi udara dari emisi gas buang mesin kapal.

Motor listrik terdiri dari berbagai macam jenis yang dapat digunakan di dunia industri salah satunya adalah motor listrik jenis DC yaitu motor *brushless* DC (BLDC). Motor arus searah atau dikenal dengan motor *direct current* (DC) yang memiliki fungsi untuk mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik berupa putaran rotor. Terdapat berbagai jenis motor yang digunakan di industri, salah satunya yaitu motor *brushless* DC (BLDC) atau jenis motor DC yang tidak menggunakan *brush* (Yuliyanto & Asrori, 2024).

Motor *brushless* DC (BLDC) ini motor yang sering ditemui di dunia industri dan transportasi listrik. Motor *brushless* DC merupakan motor listrik yang dapat berputar pada kecepatan yang konstan mulai dari tanpa beban sampai beban penuh. Motor BLDC merupakan motor tiga fasa yang berbeda dengan motor DC karena motor BLDC menggunakan kutub magnet sedangkan motor DC menggunakan komulatur untuk dapat berputar. Motor BLDC terdiri dari dua bagian yaitu rotor dan stator, rotor yaitu bagian bergerak yang memiliki magnet dan stator yaitu bagian kumparan untuk menciptakan medan magnet dengan stator (Saragih et al., 2020).

Kelebihan dari motor BLDC adalah efisiensi lebih tinggi dari pada motor induksi, pengaturan kecepatan mudah, masa operasi tinggi, perawatan motor lebih murah, tanggapannya lebih cepat, dan kebisingan motor yang dihasilkan rendah karena putaran dari motor halus. Motor BLDC membutuhkan sistem kontrol agar dapat bekerja dengan baik untuk dapat mengendalikan kecepatan putaran motor yang sesuai dengan keinginan (Saragih et al., 2020). Untuk dapat memperoleh kecepatan yang konstan dan memperbaiki kinerja dari motor BLDC membutuhkan suatu kontroler. Banyak jenis kontroller yaitu *neural fuzzy*, *fuzzy logic*, dan salah satunya *sliding mode control*.

Sliding mode control (SMC) adalah metode kontrol *non-linier* yang dibuat untuk memberikan kinerja yang kuat terhadap ketidakpastian sistem, gangguan eksternal. Metode ini bekerja dengan menggerakkan kondisi sistem menuju suatu permukaan tertentu di ruang status (*sliding surfaxe*) dan mempertahankannya. *Sliding mode control* yaitu salah satu jenis teknik pengendalian yang mempunyai sifat yang kuat dan kokoh menghadapi gangguan dan perubahan parameter. *Sliding mode control* memiliki sifat yang kuat dan memiliki sistem kendali yang diharapkan dapat menanggulangi permasalahan perubahan parameter dari motor akibat pembebanan tersebut. Perubahan parameter tersebut dapat berpengaruh terhadap perubahan respon yang cukup penting dengan parameter *sliding mode control* masih menggunakan *trial and error* (I. K. W. Jati & Ari Nrratha, 2023). Melalui penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan sebuah kontrol pengendalian kecepatan motor listrik pada kapal *trimaran* yang efektif. Sehingga peneliti

tertarik untuk membuat kontrol pengendalian motor listrik pada kapal *trimaran* berbasis *sliding mode control*.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang masalah, maka dapat diperoleh beberapa rumusan masalah yang membutuhkan jawaban dari penelitian ini dan dapat dibahas pada bab-bab selanjutnya. Perumusan masalah dalam skripsi ini sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan pengendalian kendali kecepatan motor BLDC menggunakan metode *sliding mode control* pada kapal *trimaran*?
2. Bagaimana kinerja pengendalian kecepatan motor BLDC menggunakan metode *sliding mode control* pada kondisi gelombang berbeda?

C. Batasan Masalah

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

1. Penelitian ini merupakan *prototype* pengendalian kecepatan motor listrik pada kapal *trimaran*.
2. Penelitian ini berfokus terhadap pengendalian kecepatan motor BLDC menggunakan metode *sliding mode control*.
3. Penelitian ini menggunakan *prototype* kapal *trimaran* dengan ukuran panjang 120 cm, lebar 70 cm, dan tinggi 24 cm.
4. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *sliding mode control*.

5. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler STM32 sebagai perangkat pengolah data.
6. Penelitian ini menggunakan sensor photodiode sebagai pengukur kecepatan kapal.
7. Penelitian ini menggunakan sensor tegangan (*voltage sensor divider*) sebagai pengukur tegangan
8. Penelitian ini menggunakan sensor arus ACS758.
9. Penelitian ini menggunakan minimal 10.000 rpm.

D. Tujuan Penelitian

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

1. Merancang pengendalian kecepatan motor BLDC pada kapal *trimaran* berbasis *sliding mode control*.
2. Mengetahui kinerja pengendalian kecepatan motor BLDC menggunakan metode *sliding mode control* pada kapal *trimaran*.

E. Manfaat Penelitian

Dari penelitian mengenai Pengendalian Kecepatan Motor *Brushless* DC Pada Kapal *Trimaran* Berbasis *Sliding Mode Control* ini diharapkan membawa manfaat sebagai berikut:

1. Untuk mengurangi emisi gas buang pada kapal *trimaran*
2. Untuk meningkatkan kinerja pada kapal *trimaran* dengan pengendalian kecepatan motor BLDC berbasis *sliding mode control*.

3. Sebagai referensi sistem kecepatan yang bisa digunakan pada penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Dalam hal ini, *review* terhadap penelitian-penelitian sebelumnya sangat berguna untuk memahami hasil dan perbedaan dari penelitian yang sudah ada. Dengan begitu, penelitian dapat menghindari pengulangan, mengembangkan penelitian yang telah ada, dan memperkaya materi kajian yang akan diteliti. Oleh karena itu, penulis sangat memerlukan informasi dari beberapa penelitian terdahulu. Di bawah ini adalah tinjauan penelitian sebelumnya yang digunakan dalam penelitian ini, yang terancam dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Review Penelitian Sebelumnya

Sumber : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/28221>
<http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/elektrika/article/view/5771/0>
<https://journal.trunojoyo.ac.id/triac/article/view/7923>

No	Penulis	Judul	Hasil
1.	Timothy Andromeda Saragih, Hartono Yudo, Imam Pujo Mulyanto, 2020.	DESAIN KONSEPTUAL <i>HYBRID ENGINE SYSTEM</i> PADA KAPAL TUGBOAT 1636 HP DENGAN KOMBINASI <i>DIESEL ENGINE</i> DAN <i>ELECTRIC MOTOR</i> YANG DI SUPLAH TENAGA BATERAI.	Hasil dari jurnal tersebut yang dapat disimpulkan yaitu dalam penerapan sistem <i>hybrid</i> dapat mengurangi penggunaan bahan bakar sampai 20%. Penggunaan bahan bakar total pada sistem konvensional dan <i>system hybrid</i> terdapat perbandingan yang cukup penting. Dimana <i>system hybrid</i> jauh lebih sedikit dalam penggunaan bahan bakar minyak (BBM).
2.	Abdul Muis Prasetya, Linda Sartika, Mukhlis, 2024.	MENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN <i>SLIDING MODE CONTROL (SMC)</i> DENGAN <i>FIELD ORIENTED CONTROL (FOC)</i> .	Hasil dari jurnal tersebut yang dapat disimpulkan yaitu dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dalam penggunaan <i>sliding mode control (SMC)</i> dengan <i>field oriented control (FOC)</i> sebagai pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa mendapatkan hasil respon yang baik. Hasil yang diperoleh membuktikan bahwa <i>sliding mode control</i> dengan <i>field oriented control</i> baik digunakan untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa.
3.	Rafli Fajar Anugrah,	KONTROL MOTOR BRUSHLESS DC	Hasil dari jurnal tersebut yang dapat disimpulkan yaitu sistem kontrol

No	Penulis	Judul	Hasil
	Iradiratu Diah P. K, Belly Yan Dewantara, 2020	MENGGUNAKAN SIX STEP COMUTATION DENGAN KONTROL PID (PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE).	kecepatan motor <i>brushless</i> DC <i>six step comutation</i> dengan menggunakan kontrol PID yang digunakan untuk kecepatan motor BLDC agar tetap stabil dan lebih smooth. Pengaturan PID telah menghasilkan respon sistem yang stabil dengan nilai <i>rise time</i> lebih kecil sehingga kontrol PID lebih baik dari pada kontrol PI untuk respon kecepatan motor BLDC.

Pada review jurnal diatas terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian penulis, perbedaan pada jurnal 1 dengan judul Desain Konseptual *Hybrid Engine System* pada Kapal Tugboat 1636 HP dengan Kombinasi *Diesel engine* dan *Electric Motor* Yang di Suplai Tenaga Baterai meneliti tentang sistem *hybrid propulsion* untuk mengurangi bahan bakar minyak (BBM) dan menggunakan baterai *mastervolt MLI ultra 24/5000* dengan spesifikasi 28 dengan metode *van oortmeersen*. Perbedaan jurnal 1 ini terletak pada jenis metodenya, baterai yang digunakan untuk kebutuhan mesin listrik, untuk peneliti menggunakan metode *sliding mode control*, dengan mesin *brushless* DC.

Perbedaan pada jurnal ke 2 dengan judul Mengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan *Sliding Mode Control (SMC)* Dengan *Field Oriented Control (FOC)*. Penelitian tersebut menggunakan metode *sliding mode control* dengan *field oriented control*, dimulai dari Analisa, perancangan, pemrograman, dan pengujian. Perbedaan pada jurnal 2 ini terletak pada jenis kontroler, motor induksi yang digunakan, dan metode. Adapun peneliti menggunakan sistem *hybrid propulsion*, motor *brushless* DC, metode *sliding mode control*.

Perbedaan pada jurnal ke 3 dengan judul Kontrol Motor *Brushless* DC Menggunakan *Six Step Comutation* dengan Kontrol PID (*Proportional Intergal Derivative*) meneliti tentang kecepatan pada motor BLDC agar tetap stabil dan *smooth*. Perbedaan dari jurnal tersebut terletak pada jenis kontroler, metode yang digunakan, Adapun peneliti menggunakan sistem *hybrid propulsion*, metode *sliding mode control*, kontroler mini PC.

B. Landasan Teori

Pada dasarnya yang dimaksud dengan pengendalian kecepatan motor adalah proses mengatur putaran motor agar sesuai dengan kebutuhan atau spesifikasi tertentu dengan mengontrol parameter seperti arus, tegangan, dan rpm. Pada tahap ini, peneliti menyiapkan desain alat atau sistem untuk pengoprasian dalam pengendalian kecepatan dengan menggunakan *sliding mode control* agar terciptanya rancangan yang tepat, serta mempertimbangkan dari ukuran dan bahan sistem pengendalian kecepatan agar sistem tersebut dapat berfungsi dengan baik dan jelas. Dasar teori yang digunakan pada penelitian ini yaitu motor *brushless* DC, *sliding mode control*, kapal *trimaran*, sensor tegangan DC, sensor arus ACS758, sensor RPM, STM 32, baterai *lithium polymer*, sensor photodiode, ESC.

1. Motor Brushless DC

Motor *brushless* DC (BLDC) sebagaimana pada **Gambar 2.1** disebut dengan motor magnet permanen *direct current* (DC) tanpa sikat (*brush*) yang memerlukan suplai tegangan DC dengan menggunakan bahan semikonduktor yang dapat mengubah arah putaran dalam

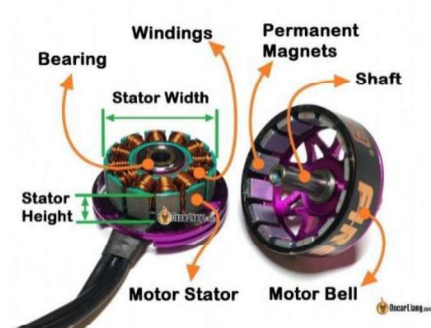
menggerakkan motor (Mulyadi et al., 2022). Motor BLDC memiliki dua bagian yaitu rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang bergerak tersusun dari magnet permanen sedangkan stator adalah bagian yang diam dan terbuat dari kumparan 3 fasa.

Kelebihan menggunakan motor BLDC yaitu memiliki kecepatan dan torsi motor yang besar, effisiensinya yang tinggi, pengaturan kecepatannya yang mudah, perawatan motor murah, dan kebisingan motor yang dihasilkan rendah karena putaran motor yang halus (Astuti & Masdi, 2022). Adapun spesifikasi motor BLDC dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Spesifikasi Motor BLDC

Sumber : Dokumen Penelitian

Voltage	12V
Min.curent	17 A
Power	1300 W
Motor	4050 KV
Ukuran	75x62x62 mm
Berat	162 g



Gambar 2. 1 Motor Brushless DC

Sumber: <https://colekmes.com/2020/01/bldc-motor-dan-kontrolernya/>

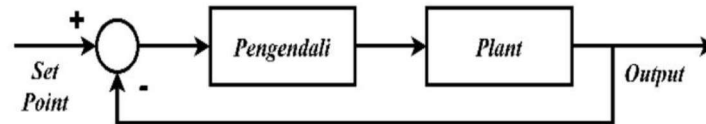
2. *Sliding Mode Control*

Sliding mode control merupakan salah satu dari beberapa bentuk teknik yang mempunyai sifat yang kokoh atau kuat dari gangguan ataupun dari perubahan parameter (Alhamdi et al., 2014). *Sliding mode control*

yang dapat menciptakan suatu respon dari kecepatan motor induksi yang nyaris tidak terjadi perubahan Kecepatan (I. K. W. Jati & Ari Nrrartha, 2023).

Sliding mode control ini dapat memastikan bahwa pengaturan motor induksi dengan metode *sliding mode control* memiliki kecepatan motor yang respon unggul, dan memiliki ketahanan yang baik untuk menghadapi ketidakpastian termasuk gangguan dari beban (Gustame et al., 2021).

Sliding mode control juga memiliki kekurangan yaitu hadirnya fenomena *chattering*, yang bisa mempengaruhi stabilitas pada sistem kendali. *Sliding mode control* dirancang untuk mampu menjaga kecepatan motor induksi agar tetap stabil (Prasetia & Sartika, 2024).



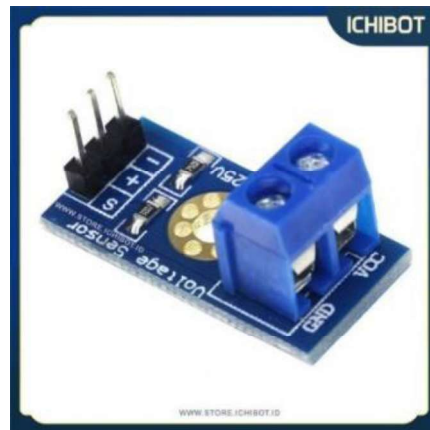
Gambar 2. 2 Blok Diagram Sliding Mode Control

Sumber: Abdul Muis Prasetia, Linda Sartika, Mukhlis (2024).

3. Sensor Tegangan DC (*Voltage Sensor Devider*)

Sensor tegangan sebagaimana pada gambar 2.3 ini untuk mendapatkan nilai-nilai dari tegangan antar fasa sehingga dapat mengetahui besar tegangan pada fasa-fasa. Rangkaian dari sensor tegangan memiliki prinsip yaitu melakukan pencuplikan tegangan yang mengalir ke sistem pengukuran. Rangkaian ini terdiri dari transformator *step down* yang berfungsi menurunkan tegangan, rangkaian penyearah,

filter kapasitor, rangkaian pembagi tegangan (Wilutomo & Yuwono, 2017).

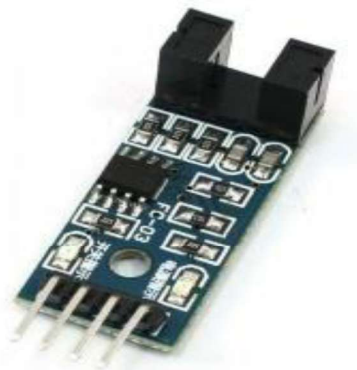


Gambar 2. 3. Sensor Tegangan DC (*Voltage Sensor Divider*)

Sumber: <https://store.ichibot.id/product/sensor-tegangan-dc-0-25v-voltage-sensor/>

4. Sensor *PhotoDioda*

Sensor *Photodioda* sebagaimana pada gambar 2.4 yaitu salah satu sensor yang biasa digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kecepatan pada RPM mesin atau motor yang sedang beroperasi dan data akan diolah dalam format sinyal elektrik. (Dwiky Kharisma Putra, et al., 2022).

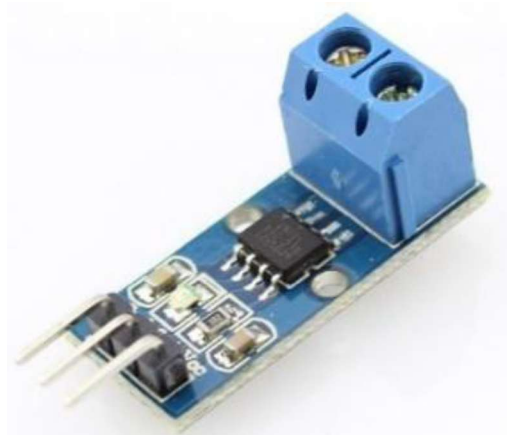


Gambar 2. 4. Sensor *Photodioda*

Sumber : <http://androminarobotenglish.blogspot.com/2017/03/encoder-and-arduinotutorial-about-ir.html>

5. Sensor Arus ACS758

Sensor arus ACS758 yaitu sensor arus yang dapat bekerja berlandaskan efek dari medan, sensor arus ini dapat mengukur arus AC atau DC. Sensor ini dilengkapi dengan rangkaian penguat oprasional, sehingga pada sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil (Suyanto & Yusuf, 2013)



Gambar 2. 5. Sensor Arus ACS758

Sumber: <https://electricityofdream.blogspot.com/2016/09/tutorial-mengukur-arus-dengan-modul.html>

6. STM32 ARM Cortex-M

STM32 ARM Cortex-M pada gambar 2.6 adalah mikrokontroler yang diproduksi oleh *STMicroelectronics* dengan 32-bit RISC ARM *Cortex-M processor* dan mempunyai *clock* frekuensi dari 32 MHz sampai 400 MHz. STM32 memiliki kinerja yang tinggi, memiliki fitur yang banyak yang tidak dimiliki oleh ATmega seperti power yang digunakan jauh lebih hemat STM32 dikarenakan hanya membutuhkan power 2 – 3,6v sehingga tidak boros daya dan lebih efisiensi (Ashari, 2018).



Gambar 2. 6. Mikrokontroler STM32 ARM Cortex-M

Sumber: <https://www.ardutech.com/mengenal-microcontroller-stm32-dan-cara-pemrogramannya/>

7. Baterai *Lithium Polymer (LiPo)*

Baterai *lithium polimer* (LiPo Battery) sebagaimana pada gambar 2.7 merupakan baterai yang serupa dengan baterai *li-ion* yang memiliki energi tinggi, berat yang ringan, dan tidak memiliki efek memori tetapi baterai ini menggunakan elektrolit polimer padat.

Baterai *li-po* sering digunakan dalam aplikasi yang menggunakan desain yang lebih fleksibel serta memiliki biaya produksi yang lebih rendah serta lebih tahan terhadap kerusakan fisik (Krishna et al., 2024).

Adapun spesifikasi dari baterai LiPo sebagai berikut

Tabel 2. 3. Spesifikasi Baterai *Lithium Polymer (LiPo)*

Sumber : Dokumen Penelitian

<i>Capacity</i>	2200mAh
<i>Voltage</i>	3SIP/3 Cell/11.1V
<i>Discharge</i>	25C
<i>Waight</i>	184 gr



Gambar 2. 7. Baterai Lithium Polymer (LiPo)

Sumber: <https://aryadega.com/arti-c-pada-baterai-lipo-20c-45c-50c-65c/>

8. *Electronic Speed Control (ESC)*

Electronic speed control (ESC) sebagaimana pada gambar 2.8 yaitu untuk mengatur kecepatan motor dapat menaikkan jumlah arus yang dibutuhkan oleh motor. ESC dapat juga dikatakan sebagai driver motor dengan memberikan kontrol kecepatan (ErickFurqon A, et al., 2020).

Motor *brushless* DC (BLDC) ini memerlukan ESC untuk mengatur daya motor BLDC (B. P. Jati & Hapsari, 2022). Adapun spesifikasi dari ESC sebagai berikut

Tabel 2. 4. Spesifikasi Electronic Speed Control (ESC)

Sumber : Dokumen Penelitian

Rentang tegangan	4-16 V-
<i>Ampare</i>	2A
Ukuran	45x24x11mm
Berat	25g
Motor yang berlaku	2212-14000KV



Gambar 2. 9. Kapal Trimaran

Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Kapal_kelas_trimaran

10. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) adalah salah satu jenis display elektronik yang memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD berfungsi sebagai penampil data, baik dalam bentuk karakter, huruf, angka, ataupun grafik (Bawotong, 2015).

Dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti arduino ataupun STM32 LCD sering digunakan untuk menampilkan data, termasuk jarak dalam satuan meter atau sentimeter sesuai dengan kebutuhan. Teknologi ini fleksibel dan menghemat daya, dengan tambahkan filter optik untuk tampilan yang lebih menarik. Kemampuan ini menjadikan LCD populer dalam berbagai aplikasi tampilan informasi.

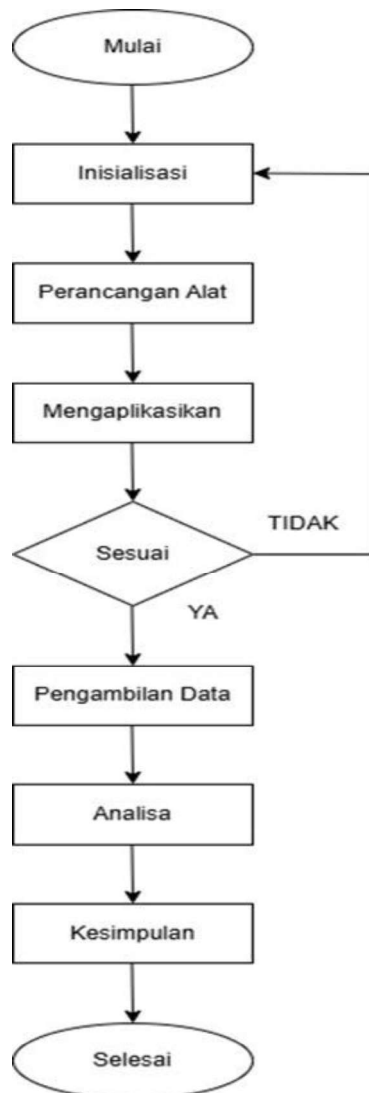


Gambar 2. 10. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Sumber: <https://www.altronics.com.au/p/z6529-2.2-inch-tft-display-module-for-arduino/>

C. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir disusun untuk menganalisa permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian dan dapat mempermudah dalam pemaparan secara lebih merinci. Oleh karena itu, diperlukan konsep alogaritma rancang bangun penelitian ini. Peneliti akan menyajikan alogaritma penelitian dalam bentuk gambar berupa kerangka berfikir.



Gambar 2. 11. Kerangka Berfikir

Sumber: Dokumentasi Penelitian

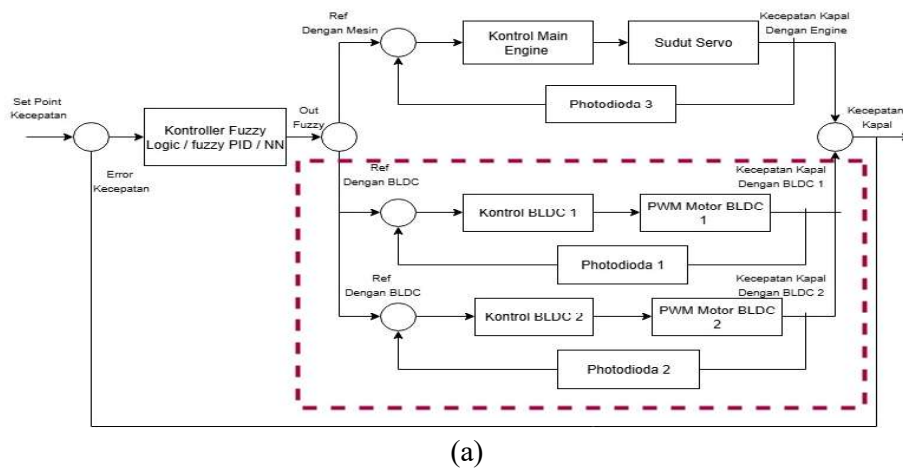
BAB III

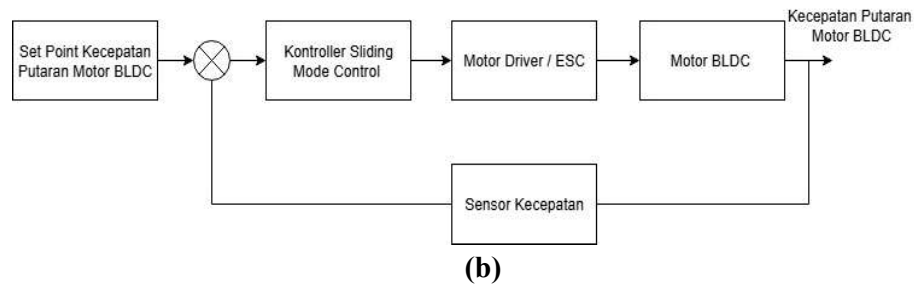
METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode dan alur penelitian. Alur penelitian yang dijelaskan pada bab ini disertai perancangan sistem, perancangan alat, serta rencana pengujian yang dijelaskan secara rinci, sistematis, dan urut sesuai dengan langkah-langkah yang telah ditentukan dalam bentuk narasi. Dalam penyusunan karya ilmiah terapan ini, peneliti menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen yaitu metode ini menggunakan cara memberi suatu perlakuan, kemudian melakukan evaluasi terhadap pengaruh yang ditimbulkan pada suatu objek penelitian (Arinando & Rohman, 2020). Eksperimen salah satu metode penelitian yang mencoba dan mencari hubungan sebab akibat antara variable bebas dan variable terikat (Abraham & Supriyati, 2022).

A. Perancangan Sistem

Kerangka perancangan sistem dapat dilihat pada blok diagram perancangan sistem gambar 3.1





Gambar 3. 1 Blok Diagram Perancangan Sistem

(a) Blok Diagram Keseluruhan (b) Blok Diagram Perancangan Sistem SMC

Sumber: Dokumentasi Penelitian

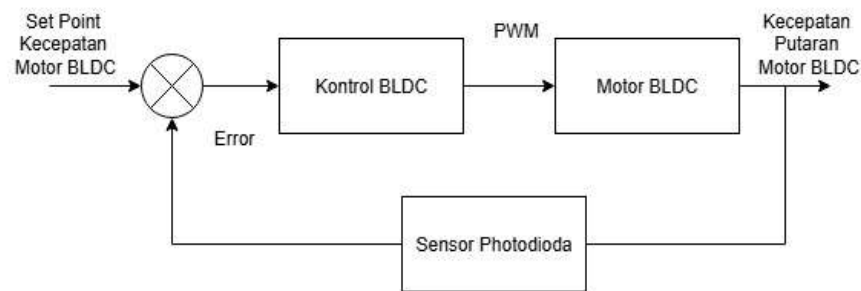
Blok diagram tersebut menggambarkan sistem kontrol motor BLDC berbasis kontrol *sliding mode control* yang dirancang untuk mengatur kecepatan kapal. Perancangan sistem dimulai dari *set point* kecepatan motor BLDC sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Nilai dari perbandingan kecepatan aktual yang diukur oleh sensor kecepatan menghasilkan nilai *error*. Nilai *error* kemudian dikirimkan ke kontroler. Kontroler menghasilkan sinyal kontrol berdasarkan nilai dari *error*, sinyal ini akan diteruskan ke motor driver/ESC yang berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus yang masuk ke motor BLDC atas perintah dari kontroler. Motor BLDC berputar sesuai sinyal dari ESC. Kecepatan putaran dibaca kembali oleh sensor dan dilakukan secara berulang.

B. Perancangan Alat

Dalam tahap perancangan terdiri dari beberapa tahapan yaitu perancangan diagram blok, perancangan alat, peralatan dan komponen elektronika, skema rangkaian elektronika sistem atau *flowchart* program. Perancangan alat adalah tahap dimana kita membuat atau merancang alat,

mulai dari mengetahui alat dan bahan yang digunakan agar alat terancang seperti yang diharapkan. Perancangan memerlukan suatu ketelitian, keuletan, dan ketepatan karena perancangan awal akan menentukan akhir dari suatu perancangan dalam proses pembuatan alat. Berikut ini adalah skema perancangan alat pada motor BLDC berbasis *sliding mode control*, setiap komponen akan memainkan peran penting dalam memastikan motor BLDC berbasis *sliding mode control* beroperasi dengan efisien di kapal. Diagram perancangan alat dapat dilihat di gambar 3.2 dan 3.3.

1. Blok Diagram Perancangan Alat



Gambar 3. 2 Blok Diagram Perancangan Alat

Sumber: Dokumentasi Penelitian

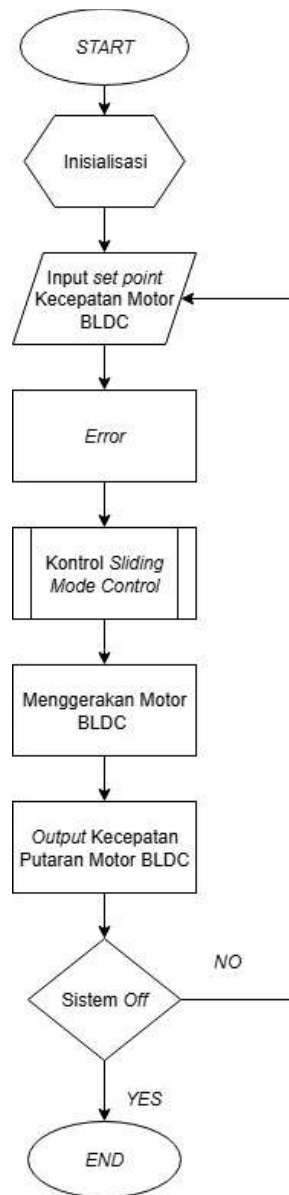
Blok diagram ini menjelaskan alur kerja dari sistem kontrol kecepatan motor *brushless* DC (BLDC) dengan beberapa bantuan sensor photodioda digunakan sebagai alat umpan balik (*feedback*).

- a. *Set point* kecepatan berfungsi sebagai tahap pertama yang diterapkan sebagai *input* berupa *set point* kecepatan yang digunakan oleh sistem atau pengguna. Nilai ini dapat menjadi acuan kecepatan putaran motor yang harus dicapai oleh motor BLDC.
- b. Kontrol BLDC berfungsi sebagai otak dari pengendali sistem. Kontrol ini memberikan perbandingan antara nilai *set point* dengan nilai

kecepatan aktual dari sensor photodiode. Hasil dari proses berupa nilai *error* (selisih kecepatan) yang kemudian diolah menggunakan metode *sliding mode control*.

- c. Motor BLDC berfungsi sebagai penerima sinyal kontrol yang berupa PWM dari kontroler yang menghasilkan kecepatan putaran sesuai dengan nilai yang diinginkan. Motor BLDC terspesifikasi lebih tahan lama karena tidak menggunakan sikat (*brushless*), memiliki kecepatan dan torsi motor yang besar, effisiensinya yang tinggi, pengaturan kecepatannya yang mudah, dan kebisingan motor yang dihasilkan rendah karena putaran motor yang halus.
- d. Sensor photodiode berfungsi mengukur kecepatan putaran motor BLDC. Sensor photodiode dapat mendeteksi jumlah cahaya yang dipantulkan oleh objek pada poros motor dan mengubah menjadi sinyal digital. Sinyal ini diolah agar mendapatkan nilai RPM. Nilai kecepatan aktual ini kemudian dikembalikan ke kontroler sebagai *feedback*, maka dari itu sistem dapat melakukan penyesuaian secara terus-menerus agar mencapai nilai kecepatan yang ditargetkan.
- e. Baterai *lithium polymer* (Li-Po) digunakan sebagai sumber utama dari motor BLDC.

2. Flowchart



Gambar 3.3 Flowchart

Sumber: Dokumentasi Penelitian

Pada gambar 3.3 *flowchart* yang dapat ditampilkan menggambarkan alur kerja sistem pengendalian kecepatan motor BLDC berbasis *sliding mode control* yang saling berkesinambungan. Dalam proses ini dimulai dari tahap awal ketika sistem dinyalakan (*start*). Setelah sistem aktif, langkah pertama yang dilakukan adalah inisialisasi, dimana seluruh dari komponen

sistem seperti sensor, mikrokontroler STM32, serta koneksi koneksi ke *electronic speed controller* (ESP) disiapkan untuk memproses. Inisialisasi ini mencakup konfigurasi pembacaan awal sensor, komunikasi, serta pengaturan dasar sistem kontrol.

Setelah proses inisialisasi dilakukan, sistem akan menerima *input* berupa nilai *set point* kecepatan motor BLDC. Nilai ini merupakan hasil dari kecepatan putaran yang ditargetkan oleh sistem, misalnya dalam satuan RPM (putaran per menit). *Input* ini dapat menjadi referensi utama yang akan dijadikan acuan dalam proses dalam kontrol motor.

Selanjutnya, sistem menghitung nilai *error* dengan selisih antara nilai *set point* dengan kecepatan aktual motor yang diperoleh dari pembacaan sensor photodiode. Nilai *error* ini mencerminkan seberapa besar *error* antara kondisi yang diinginkan dengan kondisi nyata lapangan.

Nilai dari *error* yang dihasilkan kemudian data diproses dalam blok kontrol *sliding mode control*. Pada tahap ini, sistem *sliding mode control* akan membentuk suatu permukaan luncur (*sliding surface*) berdasarkan kombinasi antara *error* dan laju perubahannya. Permukaan ini dirancang sedemikian rupa agar sistem dapat bergerak menuju dan tetap berada di atasnya selama proses kontrol berlangsung. Nilai ini kemudian digunakan untuk mengatur besarnya sinyal *pulse width modulation* (PWM) yang akan dikirimkan ke ESC.

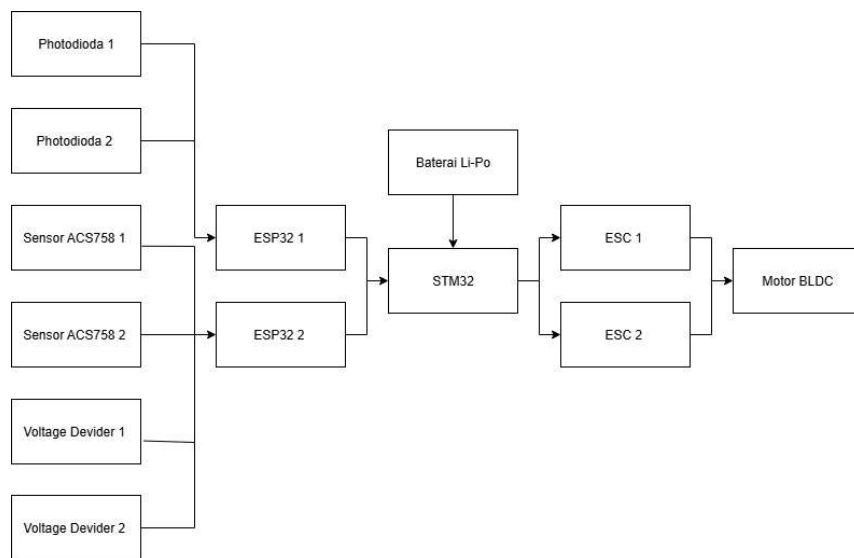
Setelah nilai dari PWM dihasilkan, sinyal dari PWM akan dikirimkan ke ESC yang berfungsi mengatur arus dan tegangan yang masuk ke motor

BLDC. Kemudian motor BLDC akan berputar dengan kecepatan yang disesuaikan berdasarkan hasil kontrol *sliding mode control*.

Selanjutnya, sistem ini akan membaca kembali kecepatan dari putaran motor melalui sensor photodiode dan menampilkan sebagai *output* kecepatan yang aktual. Nilai ini akan menjadi umpan balik (*feedback*) untuk memproses kontrol selanjutnya.

Sebelum sistem memulai ulang proses kontrol dari awal, sistem akan memeriksa apakah ada perintah untuk mematikan sistem tersebut. Jika sistem masih berjalan, maka proses akan kembali ke tahap *input* nilai yang ditentukan dan terus berjalan secara *real-time* agar kecepatan motor tetap stabil. Namun, jika sistem mendapatkan perintah untuk berhenti, maka sistem akan masuk ke tahap akhir dan semua proses akan dihentikan.

3. Blok Diagram Alat



Gambar 3.4 Blok Diagram Alat

Sumber: Dokumentasi Pribadi

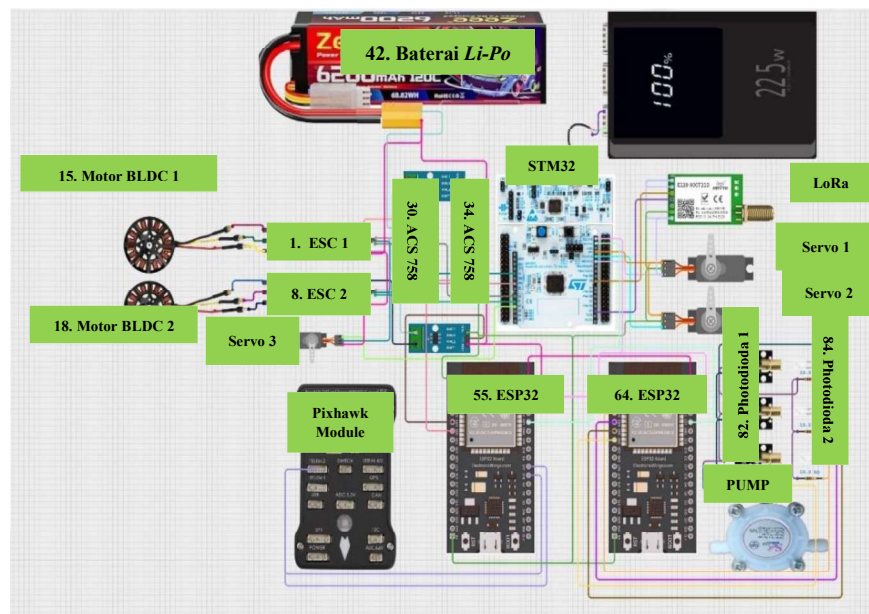
Dapat dilihat pada gambar 3.4 penjelasan mengenai cara kerja komponen untuk mendukung fungsi dari sistem pengendalian kecepatan motor BLDC.

- a. Sensor photodiode berperan sebagai perangkat pengukuran kecepatan motor BLDC, dinyatakan dalam satuan RPM
- b. Sensor arus ACS758 berperan sebagai perangkat yang digunakan untuk dapat memantau besar kecilnya dari arus listrik yang mengalir ke motor BLDC.
- c. *Voltage sensor divider* berperan dapat mendeteksi nilai dari tegangan yang dihasilkan pada motor BLDC.
- d. ESP32 berperan untuk menghubungkan antara sensor-sensor dan STM32. ESP32 dapat mengelompokkan data yang dihasilkan oleh sensor-sensor dan mengirim sinyal ke STM32, sehingga proses ini menjadi lebih efektif dan terintegrasi.
- e. STM32 berperan untuk pusat kendali utama dalam sistem pengaturan kecepatan pada motor BLDC.
- f. *Electronic speed control* (ESC) berperan mengatur besar arus atau tegangan yang masuk ke motor BLDC.
- g. Motor BLDC berperan tokoh utama untuk menggerakkan beban, dalam hal ini adalah untuk menggerakkan kapal trimaran.
- h. Baterai Li-Po berperan sebagai memberikan daya ke motor listrik untuk menggerakkan motor BLDC.

4. Wiring Diagram

Pada perancangan alat ini adapun rancangan sistem perangkat kerasnya akan ditampilkan menggunakan *wiring diagram*, hal ini penting untuk dilakukan sebelum memulai proses pembuatan alat dikarenakan perlunya perancangan yang baik sehingga ketika proses pembuatan dimulai menjadi lebih efisien dan tertata.

Hal ini akan memudahkan dalam proses pembuatan alat ini dikarenakan peneliti sudah memiliki gambaran bagaimana rangkaian alat ini akan diposisikan. Adapun komponen-komponen seperti sensor arus ACS758, sensor photodiode, sensor tegangan DC, STM32, ESC, motor BLDC, dan baterai LiPo. Untuk rangkaian alat tersebut lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Wiring Diagram

Sumber: Dokumentasi Penelitian

Tabel 3. 1. Koneksi Komponen
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-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
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 Sensor 2	OUT	G34 pada ESP32 1
42	Lipo 6200mAh	+	VCC (5V)
43	Lipo 6200mAh	-	GND (semua komponen GND)
55	ESP32 1	GND	GND (semua komponen GND)
56	ESP32 1	V5	VCC (5V)
57	ESP32 1	G35	OUT pada ACS758 Current Sensor 1

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
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 Pixhawk
69	ESP32 2	G16	Telemetry (Serial) TX pada Pixhawk
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

Dalam hal ini STM32 adalah sebagai *hardware* kontrol. Dimana sensor photodiode, sensor ACS758, dan *voltage sensor divider* akan mengirimkan sinyal ke ESP32. LCD sebagai penampil data dari hasil monitoring. Komponen ESC bertugas sebagai pengatur performa motor yang terhubung ke STM32 dan motor BLDC. Motor BLDC ini digerakkan dengan sumber utama baterai *LiPo*.

C. Rencana Pengujian

Rencana pengujian merupakan konsep pengujian terhadap alat yang dibuat untuk mengetahui bagaimana cara kerja dan kemungkinan permasalahan yang terjadi pada alat. Rencana pengujian yang akan dilakukan pada alat ini

yaitu menggunakan dua buah metode pengujian yaitu rencana pengujian statis dan rencana pengujian dinamis.

1. Rancangan Pengujian Statis

Pengujian STM32, bertujuan untuk memastikan bahwa semua fitur berfungsi sesuai dengan spesifikasi. Mikrokontroler dihubungkan ke komputer menggunakan program, kemudian sebuah program sederhana diunggah untuk mengontrol LED pada salah satu pin. Hasil pengujian memastikan bahwa STM32 berfungsi dengan baik dan siap digunakan.

- a. Pengujian sensor ACS758, diujikan untuk memastikan kemampuan dalam mengukur arus. Sensor dihubungkan ke mikrokontroler STM32 dan arus dialirkan melalui sensor menggunakan beban sederhana. Nilai arus yang terbaca dari sensor kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter untuk memverifikasi akurasi. Pengujian ini memastikan bahwa sensor berfungsi dengan baik dan siap digunakan.
- b. Pengujian sensor tegangan DC (*Voltage Sensor Divider*), diujikan untuk memastikan kemampuannya mengukur tegangan dengan akurat. Sensor dihubungkan ke pin ADC pada mikrokontroler STM32, dan sumber tegangan yang sudah diketahui digunakan sebagai *input*. Tegangan *output* dari pembagi tegangan kemudian diperiksa menggunakan multimeter dan hasilnya dibandingkan dengan pembacaan yang diterima dari ADC untuk memverifikasi kecocokannya.

- c. Pengujian *Electrical Speed Controller* (ESC), diujikan untuk memastikan kemampuannya dalam mengontrol motor BLDC sesuai dengan sinyal yang diterima. ESC dihubungkan ke motor BLDC dan baterai *Li-Po* sebagai sumber daya. Sinyal dengan variasi nilai dikirimkan menggunakan kontrol sederhana seperti STM32. Respon ESC dipantau dengan mengamati perubahan kecepatan motor BLDC. Pengujian ini memastikan bahwa ESC berfungsi dengan baik dan siap digunakan untuk menggerakkan motor BLDC.
- d. Pengujian Motor *Brushless* DC (BLDC), diujikan untuk memastikan motor beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Proses dimulai dengan menghubungkan motor ke *Electronic Speed Controller* (ESC) yang sesuai. ESC kemudian dihubungkan ke sumber daya berupa baterai *Li-Po* dan perangkat kontrol sederhana, seperti STM32. Sinyal dengan nilai minimum dikirimkan ke ESC, lalu secara bertahap ditingkatkan untuk mengamati respon motor. Motor diharapkan berputar dengan arah yang tepat dan kecepatannya berubah dengan variasi sinyal.
- e. Pengujian Photodiode, diujikan dengan menghubungkannya ke STM32 untuk membaca output yang dihasilkan. Objek ditempatkan pada berbagai jarak dari sensor, dan respon sensor diperiksa melalui pembacaan *Analog to Digital Converter* (ADC) atau menggunakan multimeter. Pengujian ini mencakup pengukuran jarak deteksi maksimum dan minimum, serta kemampuan sensor dalam deteksi objek dengan permukaan reflektif dan non-reflektif. Hasil pengujian

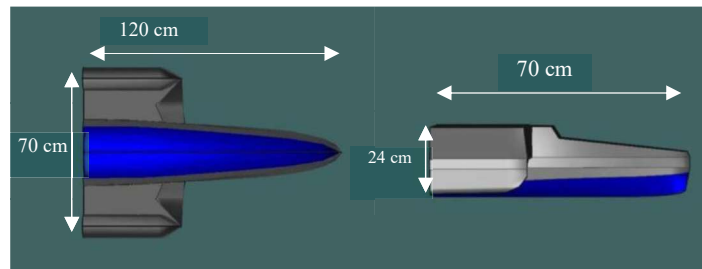
memastikan bahwa sensor photodiode berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

- f. Baterai *Lithium Polymer (Li-Po)*, diujikan untuk memastikan kondisi dan kinerjanya sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Tegangan total baterai diukur menggunakan multimeter untuk memastikan nilainya sesuai dengan nominal (sekitar 11.1V). Baterai juga dihubungkan ke beban sederhana, seperti lampu LED atau motor kecil, untuk mengukur arus keluaran. Pengujian ini memastikan bahwa baterai aman digunakan dan dapat menyuplai daya dengan baik pada sistem.
- g. LCD, diujikan dengan menghubungkannya ke mikrokontroler untuk menampilkan teks sederhana, seperti "*Test*", untuk memastikan bahwa koneksi data, *power supply*, dan konfigurasi komunikasi (misalnya 12C atau 4-bit mode) berfungsi dengan baik. Pastikan semua karakter muncul dengan jelas, tanpa distorsi atau garis yang hilang pada layer, uji kontras LCD dengan memutar potensiometer untuk memastikan tampilan dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. Pengujian juga mencakup repons LCD terhadap perubahan data secara *real-time* untuk memastikan sinkronisasi dengan sistem utama.
- h. ESP32, diujikan untuk memverifikasi modul dapat bekerja sebagai penghubung antara sensor-sensor dan STM32. ESP32 disambungkan ke komputer menggunakan program. Dalam program sederhana yang diunggah untuk menguji fungsi *bluetooth* dan *wi-fi*, serta kapasitas dalam mengirim dan menerima data-data sensor. Hasil dari pengujian

ini memastikan ESP32 dapat berfungsi dengan baik dalam mengelola data.

2. Rencana Pengujian Dinamis

Setelah dilakukan pengujian statis perkomponen maka dilakukan pengujian dinamis. Pengujian dinamis pada sistem pengendalian kecepatan motor BLDC pada *prototype* kapal *trimaran* berbasis *sliding mode control* bertujuan mengidentifikasi performa sistem secara menyeluruh. Pengujian dinamis ini dilakukan dengan cara mengintegrasikan semua sensor, kontrol, dan actuator pada *prototype* kapal trimaran dengan ukuran yang dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 4 *Prototype* Kapal *Trimaran*

(a)Tampak Bawah (b) Tampak Samping

Sumber: Dokumentasi Penelitian

Pengujian ini akan dilakukan pada kolam air dengan gelombang buatan yang beragam untuk mengetahui kondisi perairan yang berbeda beda. Adapun tujuan pengujian ini yaitu dapat mengetahui cara kerja kecepatan putaran motor BLDC pada *prototype* kapal *trimaran* dengan perbandingan sistem *sliding mode control* dan sistem manual tanpa kontrol *sliding mode control*. Adapun perbandingan yang dijalankan untuk menilai efektivitas dari kontrol *sliding mode control* dalam menghadapi berbagai kondisi gelombang diperairan.