

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN
INTERNAL COMBUSTION ENGINE BERBASIS *FUZZY LOGIC***



TAUFIG WIDIANTO
NIT.08.20.020.1.07

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

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

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN
INTERNAL COMBUSTION ENGINE BERBASIS *FUZZY LOGIC***



TAUFIG WIDIANTO
NIT.08.20.020.1.07

Disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Taufiq Widiyanto

Nomor Induk Taruna : 08.20.020.1.07

Program Studi : D-IV TRKK REGULER

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul :

RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN *INTERNAL COMBUSTION ENGINE* BERBASIS *FUZZY LOGIC*

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

Surabaya, 07 Agustus 2025



Taufiq Widiyanto

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN
INTERNAL COMBUSTION ENGINE BERBASIS *FUZZY LOGIC*

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : TAUFIG WIDIANTO

NIT : 08.20.020.1.07

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

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

Surabaya, 17 Desember 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



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



JAKA SEPTIAN K., S.Si., M.Si.
NIP. 199209122023211025

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



AKHIMAD KASAN GUPRON, M.Pd
NIP. 19800517200502103

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN
*INTERNAL COMBUSTION ENGINE BERBASIS FUZZY
LOGIC*

Program Studi : Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Nama : TAUFIG WIDIANTO

NIT : 08.20.020.1.07

Jenis Tugas Akhir : Karya Ilmiah Terapan

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

Surabaya, Juli 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



(EDI KURNIAWAN, SST, MT)
NIP. 198312022019021001



(JAKA SEPTIAN K., S.Si., M.Si)
NIP. 19920912202311025

Mengetahui,

Ketua Program studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



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

**PENNGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR KARYA ILMIAH
TERAPAN**

**RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN *INTERNAL*
COMBUSTION ENGINE BERBASIS *FUZZY LOGIC***

Disusun oleh:

TAUFIG WIDANTO

NIT. 08.20.020.1.07

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

Surabaya, Januari 2025

Mengesahkan,

Penguji I



HENNA NURDIANSARI, ST., MT., M.Sc.
NIP. 198512112009122003

Penguji II



Capt. FIRDAUS SYTEPU, S.ST., M.Si., M.Mar.
NIP. 197802272009121002

Penguji III



EDI KURNIAWAN, SST, MT.
NIP. 198312022019021001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



DIRHAMSYA, S.E., M.Pd
NIP. 197804302002121002

**PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN *INTERNAL COMBUSTION*
ENGINE BERBASIS *FUZZY LOGIC***

Disusun oleh :

TAUFIG WIDANTO
NIT. 08.20.020.1.07

D-IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

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

Surabaya, 31 Juli 2025

Menyetujui,

Penguji I

Penguji II

Penguji III



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



Capt. FIRDAUS SITEPU, S.ST., M.Si., M.Mar.
NIP. 197802272009121002



EDI KURNIAWAN, SST, MT.
NIP. 198312022019021001

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal



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

ABSTRAK

TAUFIG WIDIANTO, (2025) “Rancang Bangun Pengaturan Kecepatan *Internal Combustion Engine* Berbasis *Fuzzy Logic*”. Dibimbing oleh Bapak Edi Kurniawan, SST, MT. dan Bapak Jaka Septian K., S.Si., M.Si.

Sebagai negara kepulauan moda transportasi laut kapal sangat dibutuhkan melayani masyarakat. Pada saat ini, kapal hampir semua menggunakan mesin utama dengan jenis mesin diesel 2 tak maupun 4 tak karena keunggulannya di banding jenis mesin lainnya. Mesin diesel menghasilkan daya dengan sistem pembakaran bahan bakar yang disebut dengan sistem internal combustion engine (ICE). Motor ICE merupakan salah satu motor yang digunakan pada kapal karena daya yang dihasilkan cukup besar sebagai penggerak utama. Namun, jika terjadi perubahan beban maka kecepatan motor akan berubah yang mempengaruhi daya kapal.

Pada review jurnal, terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian penulis. Jurnal pertama, "Rancang Bangun Sistem Kendali Vertikal Mesin Diesel", pengaturan kecepatan mesin secara otomatis dengan mengendalikan pengaturan bahan bakar. Jurnal kedua, "Sistem Monitoring Dan Kontrol Dengan Fuzzy Logic", menstabilkan kecepatan putaran motor dengan metode fuzzy logic. Jurnal ketiga, "Sistem Kontrol RPM Pada Main Engine", untuk mengontrol RPM pada mesin utama dengan sensor kecepatan. Penulis menggunakan metode Fuzzy Logic.

Untuk mengatur kecepatan motor ICE, dibutuhkan sistem kontrol dan berbagai jenis kontroler, termasuk metode Fuzzy Logic. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kontrol pengendalian kecepatan motor ICE pada kapal trimaran berbasis Fuzzy logic.

Perancangan pengendalian kecepatan motor ICE pada kapal menggunakan metode Fuzzy Logic sangat cocok digunakan untuk mengendalikan sistem non-linier. Pengendali diimplementasikan pada mikrokontroler STM32 untuk mengatur motor ICE. Kinerja pengendalian menunjukkan hasil yang sangat stabil dan efisien di berbagai kondisi gelombang, dengan kestabilan dalam memenuhi set point. Metode Fuzzy Logic terbukti efektif dalam menjaga RPM dan konsumsi bahan bakar. Pengujian menunjukkan komponen yang digunakan memiliki akurasi bagus dengan rata-rata error kurang dari 5%, serta sistem kontrol lebih stabil dibandingkan tanpa kontrol.

Kata kunci: *Internal Combustion Engine, Fuzzy Logic, Kapal Trimaran*

ABSTRACT

TAUFIG WIDIANTO, (2025) "Design and Construction of Internal Combustion Engine Speed Control Based on Fuzzy Logic". Supervised by Mr. Edi Kurniawan, SST, MT. and Mr. Jaka Septian K., S.Si., M.Si.

As an archipelagic nation, ships are essential for maritime transportation. Currently, almost all ships use 2-stroke or 4-stroke diesel engines as their main engines due to their advantages over other engine types. Diesel engines generate power through a fuel combustion system called an internal combustion engine (ICE). ICE motors are one of the most common types of motors used on ships due to their substantial power output as prime movers. However, changes in load will cause the motor speed to change, affecting the ship's power output.

In the journal review, there are several differences with the author's research. The first journal, "Design and Construction of a Vertical Control System for a Diesel Engine," automatically regulates engine speed by controlling fuel settings. The second journal, "Monitoring and Control System with Fuzzy Logic," stabilizes motor rotation speed using the fuzzy logic method. The third journal, "RPM Control System on the Main Engine," to control the RPM on the main engine with a speed sensor. The author uses the Fuzzy Logic method.

To regulate the speed of an ICE motor, a control system and various types of controllers are required, including fuzzy logic methods. This research aims to develop a fuzzy logic-based control system for ICE motor speed control on a trimaran vessel.

The design of ICE motor speed control on ships using the Fuzzy Logic method is very suitable for controlling non-linear systems. The controller is implemented on an STM32 microcontroller to regulate the ICE motor. The control performance shows very stable and efficient results in various wave conditions, with stability in meeting the set point. The Fuzzy Logic method has proven effective in maintaining RPM and fuel consumption. Tests show that the components used have good accuracy with an average error of less than 5%, and the control system is more stable than without control.

Keywords: *Internal Combustion Engine, Fuzzy Logic, Trimaran vessel*

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 “*Rancang Bangun Pengaturan Kecepatan Internal Combustion Engine Berbasis Fuzzy Logic*” Penelitian tugas akhir ini adalah dalam maksud untuk menyelesaikan program studi Diploma 4 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, SST.,M.T. dan Bapak Jaka Septian K., S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah mendidik dengan baik dan sabar.
3. Bapak Dirhamsyah, S.E, M.Pd. selaku Ketua Prodi DIV TRKK yang telah membantu membimbing dan mendidik secara sabar.
4. Kedua Orang tua saya, Nurbadi dan Suminem serta keluarga yang selalu memberikan dukungan berupa doa, moral dan material.
5. Siti Nawang Arum S.Pd. terima kasih telah menjadi salah satu penyemangat, pendengar, dan penasihat yang baik
6. Rekan kelompok penelitian *Hybrid Propulsion* yang telah bersama-sama mensukseskan penelitian ini.
7. Rekan seperjuangan taruna – taruni Politeknik Pelayaran Surabaya.

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, 07 Agustus 2025

Taufiq Widiyanto
NIT. 08.20.020.1.07

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL KARYA ILMIAH TERAPAN	iv
PENNGESAHAN 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	3
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	6
1. Motor ICE Zenoah	7
2. ESP32	8

3. <i>STM32</i>	9
4. <i>LCD</i>	10
5. Motor Servo.....	11
6. <i>Fuzzy Logic</i>	12
7. Sensor <i>Photodiode</i>	13
8. Sensor Flowmeter	14
9. Kapal Trimaran.....	15
C. Kerangka Berpikir	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
A. Perancangan Sistem.....	18
B. Perancangan Alat.....	19
1. Blok Diagram	20
2. <i>Flowchart</i>	21
3. Blok Diagram	27
4. <i>Wiring Diagram</i>	28
C. Rencana Pengujian	31
1. Rancangan Pengujian Statis	31
2. Rencana Pengujian Dinamis.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
A. Hasil Pengujian.....	35
1. Pengujian Statis	35
2. Pengujian Dinamis	47
B. Analisa Hasil Pengujian.....	72
1. Pengujian Statis	73

2. Pengujian Dinamis	73
C. Kajian Produk Akhir	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	92
A. Kesimpulan	92
B. Saran	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya	5
Tabel 3. 1 Tabel Fuzzyfikasi	23
Tabel 3. 2 Aturan Fuzzy untuk Engine Control	24
Tabel 3. 3 Pin Perancangan Alat	30
Tabel 4. 1 Pinout STM32	36
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Motor Servo	39
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Pengujian Engine	41
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor <i>Speed</i>	43
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Sensor Flowmeter	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor Zenoah	8
Gambar 2. 2 ESP32.....	8
Gambar 2. 3 STM32	10
Gambar 2. 4 LCD	11
Gambar 2. 5 Motor Servo.....	11
Gambar 2. 6 Sensor Photodiode	14
Gambar 2.7 Sensor Flowmeter	15
Gambar 2. 8 Kapal Trimaran.....	16
Gambar 2. 9 Kerangka Berpikir	17
Gambar 3. 1 Blok Diagram Perancangan Sistem	18
Gambar 3. 2 Diagram Perancangan Alat.....	20
Gambar 3. 3 Flowchart.....	22
Gambar 3. 4 Diagram Alat	27
Gambar 3. 5 <i>Wiring</i> Diagram	29
Gambar 4. 1 Pengujian STM32 (a) LED ON (b) LED OFF	36
Gambar 4. 2 Pengujian ESP32 dengan LED	37
Gambar 4. 3 Pengujian Servo	38
Gambar 4. 4 Starter Zenoah Engine.....	40
Gambar 4. 5 Pembacaan RPM dengan Tachometer	41
Gambar 4. 6 Pengujian Sensor <i>Photodiode</i>	43
Gambar 4. 7 Pengujian Sensor <i>Flowmeter</i>	45
Gambar 4. 8 Pengujian LCD	47
Gambar 4. 9 Grafik RPM Set Point 6000 RPM tanpa kontrol	48
Gambar 4. 10 Grafik Throttle Set Point 6000 RPM tanpa kontrol.....	49
Gambar 4. 11 Grafik Kecepatan Set Point 6000 RPM tanpa kontrol	49
Gambar 4. 12 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 6000 RPM tanpa kontrol.....	50
Gambar 4. 13 Grafik RPM Set Point 6000 RPM dengan kontrol	51
Gambar 4. 14 Grafik Throttle Set Point 6000 RPM dengan kontrol	51
Gambar 4. 15 Grafik Kecepatan Set Point 6000 RPM dengan kontrol	52
Gambar 4. 16 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 6000 RPM dengan kontrol....	52
Gambar 4. 17 Grafik RPM Set Point 7000 RPM tanpa kontrol	53
Gambar 4. 18 Grafik <i>Throttle</i> Set Point 7000 RPM tanpa kontrol.....	54
Gambar 4. 19 Grafik Kecepatan Set Point 7000 RPM tanpa kontrol	54
Gambar 4. 20 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 7000 RPM tanpa kontrol.....	55
Gambar 4. 21 Grafik RPM Set Point 7000 RPM dengan kontrol	55
Gambar 4. 22 Grafik <i>Throttle</i> Set Point 7000 RPM dengan kontrol	56
Gambar 4. 23 Grafik Kecepatan Set Point 7000 RPM dengan kontrol	56
Gambar 4. 24 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 7000 RPM dengan kontrol....	57
Gambar 4. 25 Grafik RPM Set Point 8000 RPM tanpa kontrol	58

Gambar 4. 26 Grafik <i>Throttle</i> Set Point 8000 RPM tanpa kontrol.....	58
Gambar 4. 27 Grafik Kecepatan Set Point 8000 RPM tanpa kontrol.....	59
Gambar 4. 28 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 8000 RPM tanpa kontrol.....	60
Gambar 4. 29 Grafik RPM Set Point 8000 RPM dengan kontrol	60
Gambar 4. 30 Grafik <i>Throttltre</i> Set Point 8000 RPM dengan kontrol.....	61
Gambar 4. 31 Grafik Kecepatan Set Point 8000 RPM dengan kontrol	61
Gambar 4. 32 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 8000 RPM dengan kontrol....	62
Gambar 4. 33 Grafik RPM Set Point 10000 RPM tanpa kontrol	63
Gambar 4. 34 Grafik <i>Throttle</i> Set Point 10000 RPM tanpa kontrol.....	63
Gambar 4. 35 Grafik Kecepatan Set Point 10000 RPM tanpa kontrol.....	64
Gambar 4. 36 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 10000 RPM tanpa kontrol.....	64
Gambar 4. 37 Grafik RPM Set Point 10000 RPM dengan kontrol	65
Gambar 4. 38 Grafik <i>Throttle</i> Set Point 10000 RPM dengan kontrol.....	66
Gambar 4. 39 Grafik Kecepatan Set Point 10000 RPM dengan kontrol	66
Gambar 4. 40 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 10000 RPM dengan kontrol..	67
Gambar 4. 41 Grafik RPM Set Point 11000 RPM tanpa kontrol	68
Gambar 4. 42 Grafik <i>Throttle</i> Set Point 11000 RPM tanpa kontrol.....	68
Gambar 4. 43 Grafik Kecepatan Set Point 11000 RPM tanpa kontrol.....	69
Gambar 4. 44 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 11000 RPM tanpa kontrol.....	69
Gambar 4. 45 Grafik RPM Set Point 11000 RPM dengan kontrol	70
Gambar 4. 46 Grafik <i>Throttle</i> Set Point 11000 RPM dengan kontrol	71
Gambar 4. 47 Grafik Kencepatan Set Point 11000 RPM dengan kontrol	71
Gambar 4. 48 Grafik <i>Fuel Consumption</i> Set Point 11000 RPM dengan kontrol..	72
Gambar 4. 49 Grafik perbandingan nilai RPM pada set point 6000 RPM	74
Gambar 4. 50 Grafik perbandingan kecepatan pada set point 6000 RPM.....	75
Gambar 4. 51 Grafik perbandingan <i>Throttle</i> pada set point 6000 RPM.....	76
Gambar 4. 52 Grafik perbandingan nilai RPM pada set point 7000 RPM	77
Gambar 4. 53 Grafik perbandingan kecepatan pada set point 7000 RPM	78
Gambar 4. 54 Grafik perbandingan <i>throttle</i> pada set point 7000 RPM	79
Gambar 4. 55 Grafik perbandingan RPM pada set point 8000 RPM	80
Gambar 4. 56 Grafik perbandingan kecepatan pada set point 8000 RPM	80
Gambar 4. 57 Grafik perbandingan <i>throttle</i> pada set point 8000 RPM	81
Gambar 4. 58 Grafik perbandingan RPM pada set point 10000 RPM	82
Gambar 4. 59 Grafik perbandingan kecepatan pada set point 10000 RPM	83
Gambar 4. 60 Grafik perbandingan <i>throttle</i> pada set point 10000 RPM	83
Gambar 4. 61 Grafik perbandingan RPM pada set point 11000 RPM	84
Gambar 4. 62 Grafik perbandingan kecepatan pada set point 11000 RPM	85
Gambar 4. 63 Grafik perbandingan <i>throttle</i> pada set point 11000 RPM	86
Gambar 4. 64 Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar	87

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagai negara kepulauan moda transportasi laut yang biasa disebut dengan kapal digunakan dalam melayani kebutuhan penduduknya seperti distribusi barang ataupun penumpang yang efisien (Budiyanto & Haryadi, 2023). Kapal memerlukan sebuah mesin utama yang digunakan untuk menggerakkan kapal secara efisien. Pada saat ini, mesin penggerak utama kapal hampir semua menggunakan jenis mesin diesel baik itu 2 tak ataupun 4 tak karena memiliki keunggulan di banding jenis mesin penggerak utama lainnya. Peranan mesin penggerak utama pada kapal sangat penting sekali tanpa mesin yang memiliki kondisi prima dan aman kapal tidak akan pernah bisa dinyatakan layak laut apabila dipaksakan tetap berlayar di khawatirkan bisa mengancam keselamatan anak buah kapal dan muatannya.

Mesin diesel adalah alat yang dapat menghasilkan tenaga serta dapat mengkonversi sumber energi panas menjadi suatu daya tenaga mekanik melalui sistem pembakaran bahan bakar (Utomo, 2020). Berdasarkan sistem *Internal Combustion Engines (ICE)* didefinisikan suatu motor yang dayanya ditujukan guna menghasilkan kerja mekanik diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar yang dilakukan di dalam motor itu sendiri, seperti motor diesel dan motor bensin. Pada *Internal Combustion Engine* yang lebih dikenal dengan nama motor bakar, proses pembakaran berlangsung didalam mesin (Kirono et al., 2010). Motor *ICE* merupakan salah satu motor yang digunakan pada kapal

karena daya yang dihasilkan mencapai 70-100.000 HP, tergantung pada jenis mesin dan kapal. Namun, jika terjadi perubahan beban maka kecepatan motor akan berubah yang akan mempengaruhi daya kapal tersebut.

Kecepatan Motor ICE tidak dapat Stabil apabila terjadi perubahan beban (Aifiayu & Ta'ali, 2021). Dengan memberikan beban pada motor dapat merubah kecepatan putaran motor. Semakin besar beban yang diterima motor, maka torsi pada motor akan semakin besar pula, hal tersebut dapat menghambat laju motor. Ada beberapa cara yang bisa dilakukan untuk mengendalikan kecepatan putaran motor yaitu dengan mengatur bahan bakar yang menuju ke motor ICE.

Berdasarkan masalah tersebut, dibutuhkan sebuah alat yang dapat mengontrol kecepatan putaran motor sehingga dapat mempermudah pekerjaan manusia. Metode yang akan digunakan yaitu *Fuzzy Logic*. *Fuzzy Logic* sangat cocok digunakan untuk mengendalikan sistem *non-linear* karena pendekatannya yang berbasis aturan (*rule-based approach*) dan fleksibilitasnya dalam menangani ketidakpastian serta kompleksitas. Tahapan *Fuzzy Logic* terbagi atas tiga bagian diantaranya fuzzyfikasi, evaluasi rule dan defuzzyfikasi. Nantinya data kecepatan yang didapatkan dari metode *Fuzzy Logic* akan dikirimkan ke *PC (Personal Computer)*, ini bertujuan untuk mudah mengetahui terjadinya perubahan kecepatan sehingga dapat mempermudah dalam menganalisis kerusakan yang terjadi pada motor, hal ini lebih dikenal sebagai *interface*. Dengan alasan tersebut maka peneliti tertarik untuk mengadakan penelitian berjudul *Rancang Bangun Pengaturan Kecepatan Internal Combustion Engine Berbasis Fuzzy Logic*.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang sistem kontrol kecepatan motor *ICE* berbasis *fuzzy logic*?
2. Bagaimana efektifitas sistem kontrol kecepatan motor *ICE* berbasis *fuzzy logic*?

C. Batasan Masalah

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

1. Penelitian lebih fokus pada faktor perancangan sistem pengaturan kecepatan motor *ICE* berbasis *fuzzy logic*.
2. Penelitian ini hanya mencakup pengujian pada motor *Zenoah engine* dan tidak mencakup motor jenis lain atau aplikasi di luar sistem pengendalian kecepatan.
3. Sensor yang digunakan adalah *IR Speed*.
4. Menggunakan *microcontroller* stm32 sebagai perangkat pengolahan data.
5. Pembuatan alat peraga ini menggunakan motor servo sebagai aktuator untuk menambah atau mengurangi kecepatan motor *ICE*.
6. Perancangan pengaturan kecepatan motor *ICE* ini diterapkan pada *prototype* kapal trimaran.

D. Tujuan Penelitian

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

1. Merancang bangun sistem kontrol kecepatan motor *ICE* berbasis *fuzzy logic*.
2. Mengetahui efektifitas sistem kontrol kecepatan motor *ICE* berbasis *fuzzy logic*.

E. Manfaat Penelitian

Pada pengembangan penelitian ini memiliki beberapa manfaat terhadap penelitian antara lain:

1. Menciptakan alat untuk mengatur kecepatan motor *ICE* berbasis *fuzzy logic*.
2. Sebagai bahan acuan sistem kontrol kecepatan motor *ICE* yang bisa digunakan pada penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Dalam hal ini, *review* terhadap penelitian sebelumnya sangat berguna untuk memahami hasil dan perbedaan dari penelitian yang sudah ada. Dengan begitu, peneliti 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. Tinjauan penelitian sebelumnya yang digunakan dalam penelitian ini, yang tercantum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya
Sumber : Dokumen Pribadi

No	Penulis	Judul	Hasil	Perbedaan
1	Zenal Abidin, Jurnal Teknik Mesin Vol.2 No.02 (Juni 2024)	RANCANG BANGUN PROTOTYPE SIMULATOR SISTEM KENDALI VERTIKAL MESIN DIESEL	Hasil dari alat ini Sistem kontrol pada motor bakar mesin diesel untuk mengatur kecepatan putar mesin secara otomatis dengan mengendalikan pengaturan bahan bakar menggunakan prototype Stainer Sistem Kontrol vertical. Sehingga tetap dapat mempertahankan kecepatan mesin meskipun beban yang diberikan berubah-ubah.	Perbedaan utama pada penelitian sebelumnya jenis mesin diesel solar dan sistem kontrol bahan bakar dengan bandul vertikal. Sedangkan, pada penelitian ini menggunakan jenis mesin diesel bensin dan sistem kontrol bahan bakar dengan motor servo yang berbasis <i>fuzzy logic</i> pada metodenya.

No	Penulis	Judul	Hasil	Perbedaan
2	Alfiayu, Ta'ali, Jurnal Teknik Elektro Indonesia Vol. 2 No. 1, (2021)	SISTEM MONITORING DAN KONTROL MOTOR AC 1 PHASA DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER BERBASIS ARDUINO UNO	Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa pada perancangan alat ini menggunakan komponen hardware power supply, Arduino Uno, sensor kecepatan, Gate Drive, Motor AC 1 Phasa dan software-nya Arduino IDE dan juga software Visual Basic. Penelitian ini telah berhasil dalam menstabilkan kecepatan putaran motor AC 1 Phasa dengan kecepatan yang diinginkan menggunakan metoda Fuzzy Logic Controller berbasis Arduino Uno.	Perbedaan utama pada penelitian sebelumnya penggunaan motor AC 1 phasa dan software menggunakan Visual Basic. Sedangkan, pada penelitian ini menggunakan motor diesel bensin dan software menggunakan stm32IDE.
3	Reski Kurniawan, Jurnal Kendali Teknik dan Sains Vol. 2, No. 3 Juli 2024	RANCANG BANGUN SISTEM CONTROLLING RPM PADA MAIN ENGINE BERBASIS ARDUINO UNO GUNA MENCEGAH TERJADINYA OVERSPEED	Hasil pembuatan sebuah prototype untuk mengontrol RPM pada mesin utama menggunakan sensor kecepatan IR berbasis Arduino Uno. Pengujian menunjukkan bahwa prototype ini memiliki tingkat keakuratan yang tinggi, dengan selisih antara 0,08% hingga 2,73% dan rata-rata selisih sebesar 1,003%.	Perbedaan utama penelitian sebelumnya penggunaan Arduino Uno untuk mikrokontroler. Sedangkan, pada penelitian ini menggunakan Stm32 untuk mikrokontroler-nya.

B. Landasan Teori

Landasan teori penelitian ini membangun definisi dan konsep *variabel* penelitian secara sistematis, termasuk penjelasan konsep-konsep kunci, serta hubungan antar *variabel*. Teori-teori pendukung dari berbagai disiplin ilmu dan

literatur terkait digunakan untuk memperkaya pemahaman topik penelitian. Landasan teori ini mengarahkan penelitian dengan fokus, menyediakan dasar solid untuk interpretasi hasil, dan berkontribusi pada pemahaman ilmiah di bidang yang diteliti. Landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Motor ICE Zenoah

Motor *ICE* merupakan salah satu jenis mesin penggerak yang banyak dipakai dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik (Parende et al., 2013). Motor ICE adalah mesin yang bekerja dengan udara dan bensin dihisap masuk ke silinder, piston mengkompresi udara dan bensin, *spark plug* menciptakan percikan api untuk pembakaran, gas panas digunakan untuk gaya dorong piston, gas hasil pembakaran dikeluarkan melalui *exhaust valve* dari silinder.

Mesin *ICE* adalah mesin dimana proses pembakaran berlangsung di dalam mesin itu sendiri, sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja (Andika PP Tampubolon et al., 2015). Mesin pembakaran dalam ini umumnya dikenal dengan sebutan motor bakar. Mesin *ICE* bensin dikenal dengan mesin “*Otto*” atau mesin “*Beau Des Rochas*”. Pada motor bensin, penyalaan bahan bakar dilakukan oleh percikan bunga api listrik dari antara ke dua elektroda busi. Oleh sebab itu, motor bensin dikenal juga dengan sebutan *Spark Ignition Engine (SIE)*.



Gambar 2. 1 Motor Zenoah

Sumber : <https://images.app.goo.gl/8a3P1KanfwCTR86N9>

2. ESP32

ESP32 adalah modul mikrokontroler terintegrasi yang memiliki fitur lengkap dan kinerja tinggi (Prafanto et al., 2021). Modul ini merupakan pengembangan dari ESP8266, yang merupakan modul *WiFi* populer. ESP32 memiliki dua prosesor komputasi, satu prosesor untuk mengelola jaringan *WiFi* dan *Bluetooth*, serta satu prosesor lainnya untuk menjalankan aplikasi (Ezenwobodo & Samuel, 2022).

Dilengkapi dengan memori RAM yang cukup besar untuk menyimpan data. Fitur yang berguna seperti TCP/IP, HTTP, dan FTP. Modul ini juga dilengkapi fitur pemrosesan sinyal analog, dukungan untuk sensor, dan dukungan untuk perangkat *Input/Output (I/O)* digital. ESP32 juga memiliki dukungan untuk konektivitas *Bluetooth*. Dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat yang terhubung dengan *Bluetooth*.



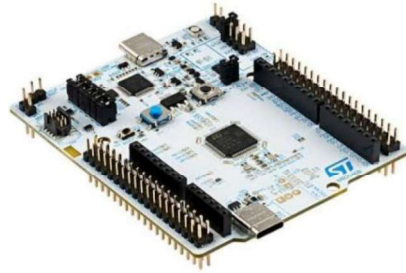
Gambar 2. 2 ESP32

Sumber : ESP32-DevKitC.jpg (1045×757) (nabto.com)

3. *STM32*

STM32 adalah keluarga *microcontroller* 32-bit yang dibuat oleh *STMicroelectronics* (Eka Maulana & Nurpulaela, 2024). *Microcontroller* ini khusus dirancang untuk aplikasi *Cortex-A* (aplikasi umum), *Cortex-M* (embedded), dan *Cortex-R* (*real-time*). Keunggulan utama *STM32* terletak pada kombinasi antara performa tinggi dan periferal berkualitas tinggi, menjadikannya lebih unggul dibandingkan arduino dalam hal kinerja. *Microcontroller* ini sangat cocok untuk diterapkan dalam proyek-proyek yang bersifat terbenam (*embedded*). *STM32* telah digunakan dalam beragam aplikasi, mulai dari perangkat pencetak sederhana hingga pengembangan perangkat lunak sistem dan sistem terbenam yang kompleks.

STM32 adalah *microcontroller* yang masuk dalam kategori *microcontroller medium-density performance line* (Saputra & Purwoko, 2019). *STM32* diproduksi oleh perusahaan *STMicroelectronics*. *STM32* menggunakan prosesor *ARM* 32-bit dengan kecepatan maksimum sebesar 72 MHz. Karena bentuknya yang kecil dan mempunyai kecepatan yang tinggi, *STM32* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti driver motor, pengontrol aplikasi, peralatan medis, periferal PC dan games, platformGPS, aplikasi industri, *inverter*, printer, *scanners*, sistem alarm, dan video *intercoms*.



Gambar 2. 3 STM32

Sumber : <https://images.app.goo.gl/Nhx2e7sqeahVG37o6>

4. *LCD*

Liquid *crystal* display (LCD) 16x2 seperti gambar adalah suatu tampilan dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan system dot matriks (Ahmad Hunaepi et al., 2021). Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 dapat menampilkan sebanyak 32 karakter yang terdiri dari 2 baris dan tiap baris dapat menampilkan 16 karakter, dengan adanya tambahan I2C pada LCD, pemrogram atau perancang alat dapat dengan mudah menghubungkan LCD dengan mikrokontroler melalui 4 port I2C.

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



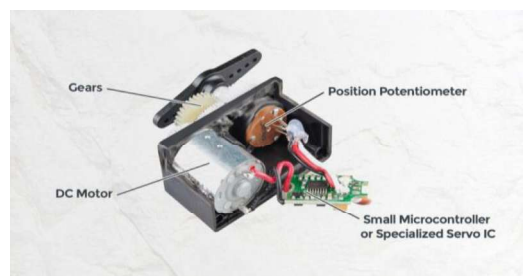
Gambar 2. 4 LCD

Sumber : <https://images.app.goo.gl/gK4fK63WtREowf5g9>

5. Motor Servo

Motor *servo* adalah motor DC yang dilengkapi rangkaian kendali dengan *system closedback* yang terintegrasi dalam motor tersebut (Raflianto & Sasmoko, 2015). Pada motor servo posisi putaran sumbu (*axis*) dari motor akan di informasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo.

Motor servo bekerja dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo (Rois'Am et al., 2019). Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian *gear*, *potensiometer* dan rangkaian kontrol. *Potensiometer* berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.



Gambar 2. 5 Motor Servo

Sumber : <https://images.app.goo.gl/te9USLPYPtE2DJHf6>

6. *Fuzzy Logic*

Fuzzy Logic pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, banyak pengaplikasian dari penemuannya yang berhasil terutama bidang kontrol (Arif Insantama & Suprianto, 2019). Dalam kontrol *Fuzzy*, hasil pengukuran atau *output* proses diproduksi oleh komponen teknik (sensor). Di samping itu, *controller output* digunakan untuk mengontrol aktuaternya. Artinya, *kontroller fuzzy* membutuhkan hubungan antara *input* dan *output*-nya.

Fungsi keanggotaan merupakan sebuah *kurva* yang mempresentasikan masukan data ke derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai antara 0 dan 1 (Septian Dwisaputra et al., 2021). Dengan fungsi keanggotaan yang telah dirancang maka nilai-nilai masukan tersebut akan menjadi informasi yang berguna sebagai proses pengolahan selanjutnya. Banyaknya jumlah suatu fungsi membership dalam *input fuzzy* menentukan banyaknya *basis* aturan yang akan dibuat. Fungsi keanggotaan dari *fuzzy logic* melibatkan tiga langkah yaitu:

a. *Fuzzifikasi*

Langkah pertama dalam memproses logika *fuzzy* mengandung transformasi domain yang dinamakan fuzzifikasi. Masukan *crisp* ditransformasikan kedalam masukan *fuzzy*. Untuk mengubahnya, fungsi keanggotaan pertama kali harus ditentukan untuk tiap masukan. Sekali fungsi keanggotaan ditentukan, *fuzzifikasi* mengambil nilai masukan secara *realtime*, dan membandingkannya dengan informasi fungsi keanggotaan yang tersimpan untuk menghasilkan nilai masukan.

b. *Rule Evaluation*

Di langkah ini menggambarkan dinamika suatu sistem terhadap masukan yang dikarakteristikan oleh sekumpulan *variabel linguistic* akan diketahui bagaimana aturan-aturan menggunakan masukan *fuzzy* untuk menentukan aksi sistem.

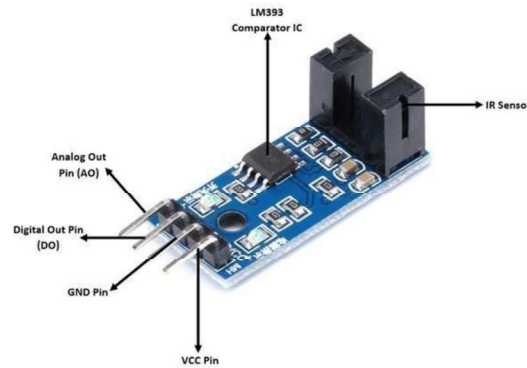
c. *Defuzzifikasi*

Input dari *defuzzifikasi* adalah suatu himpunan yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut.

7. **Sensor *Photodiode***

Katup sensor photodiode pada gambar adalah perangkat elektronik yang mengukur dan mendeteksi radiasi inframerah di lingkungan sekitarnya (Androva & Mukhtar, 2023). Radiasi inframerah secara tidak sengaja ditemukan oleh seorang astronom bernama William Herchel pada tahun 1800. Saat mengukur suhu setiap warna cahaya (dipisahkan oleh prisma), diperlihatkan bahwa suhu yang berada tepat di luar lampu merah adalah yang tertinggi.

Sensor ini merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan sinar inframerah (Ulm & Haryudo, 2020). Sensor ini banyak dipakai untuk mendeteksi jarak ataupun pergerakan suatu benda. Cara kerja dari sensor optocoupler adalah bila terhalang maka output akan open, dan bila tidak terhalang output akan short. Dengan cara kerja tersebut, sinar inframerah akan putus-putus dan menimbulkan pulsa-pulsa listrik. Pulsa-pulsa itu kemudian dapat diolah dan ditangkap oleh microcontroller.



Gambar 2. 6 Sensor Photodiode

Sumber: <https://images.app.goo.gl/svfX2HG3M5uM17mT7>

8. 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.

Flow meter berfungsi untuk mengukur jumlah aliran fluida yang mengalir baik dalam bentuk cairan, gas atau uap. Dalam prosesnya, fluida akan melewati perangkat flow meter 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 2.7 Sensor Flowmeter

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

9. Kapal Trimaran

Kapal trimaran merupakan kapal yang terdiri dari sebuah lambung utama (*main hull/vaka*) dan dua lambung katir (*outriggerama*) yang relatif kecil, yang melekat pada main hull dengan penumpu samping (*lateral struts*) (Pantai et al., 2016). Kapal trimaran pertama dibangun oleh bangsa polinesia hampir 4000 tahun yang lalu, dan yang banyak ditiru sekarang adalah warisan dari mereka.

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.

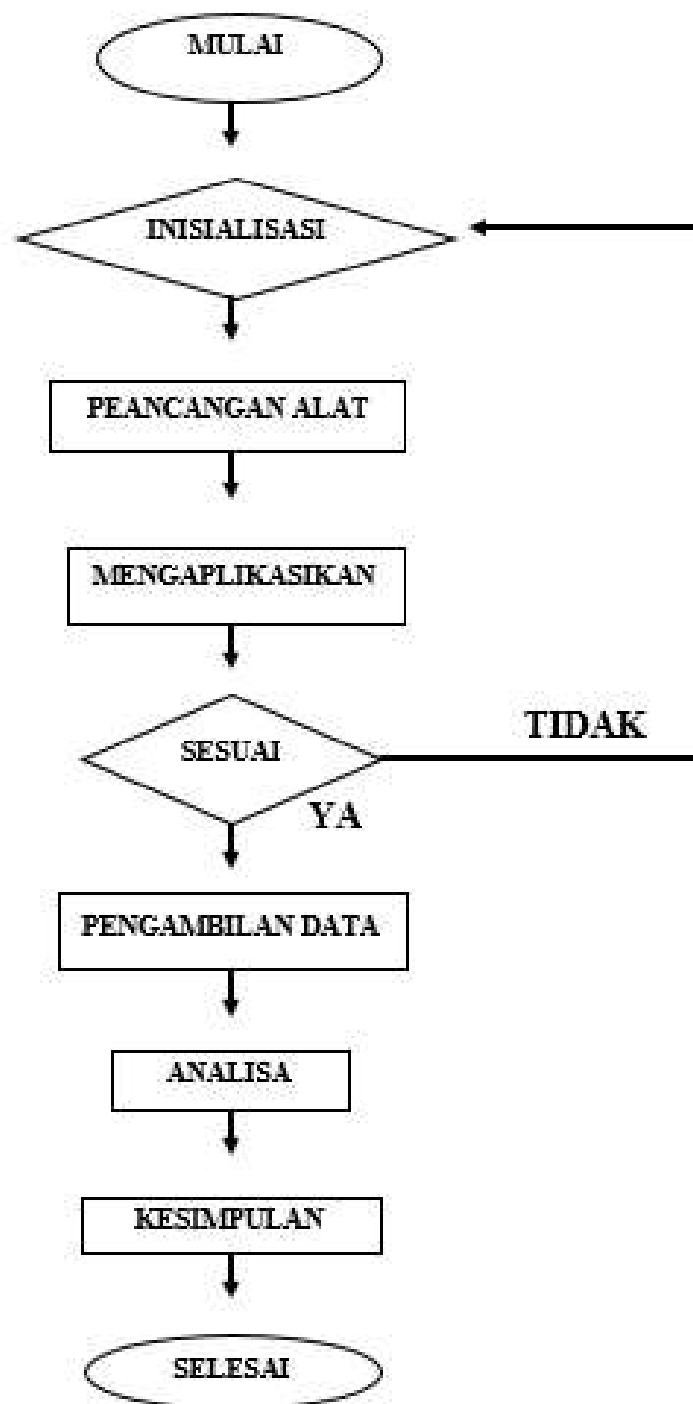


Gambar 2. 8 Kapal Trimaran

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

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir disusun guna menganalisa permasalahan yang dibahas dalam penelitian dan mempermudah dalam pemaparan seacara lebih merinci oleh karena itu diperlukan konsep algoritma rancang bangun penelitian ini. Peneliti akan menyajikan algoritma penelitian dalam bentuk gambar berupa kerangka berpikir.



Gambar 2. 9 Kerangka Berpikir

Sumber: Dokumentasi Pribadi

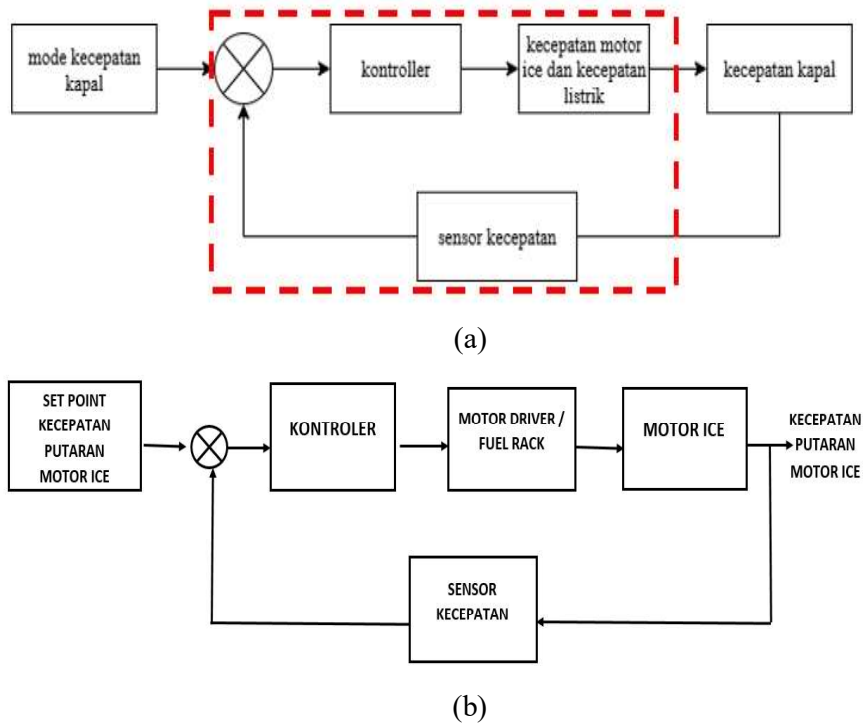
BAB III

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 yang telah ditentukan dalam bentuk narasi. Dalam penyusunan karya ilmiah terapan ini, peneliti menggunakan metode penelitian eksperimen. Eksperimen adalah suatu penelitian yang berusaha mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkontrol.

A. Perancangan Sistem

Kerangka perancangan sistem dapat dilihat pada diagram gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Blok Diagram Perancangan Sistem (a) Sistem Kapal (b) Sistem Motor ICE

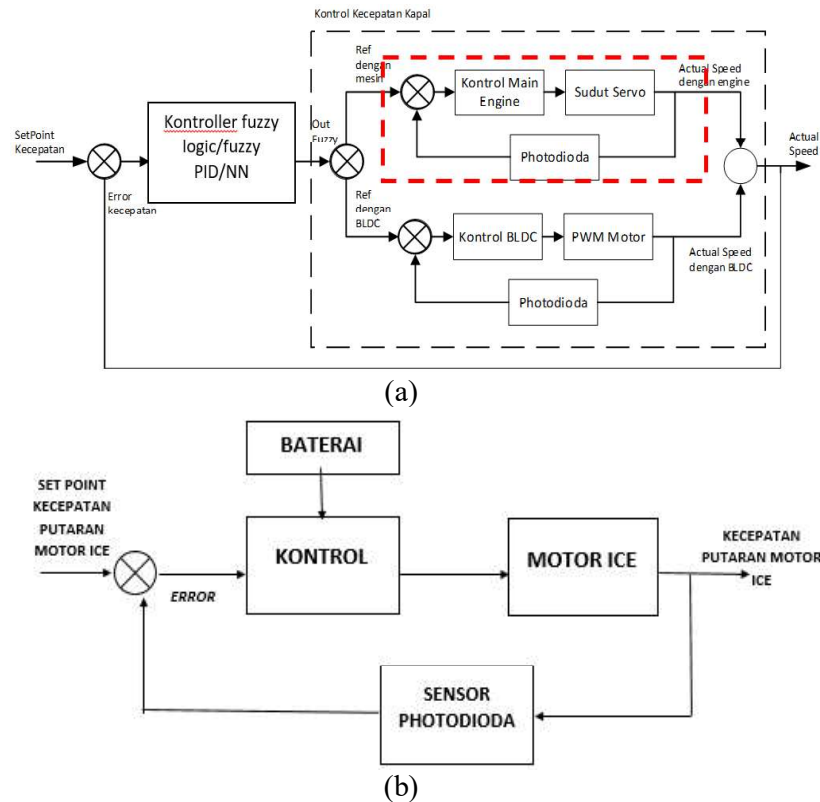
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Berikut ini adalah penjelasan tentang blok diagram perancangan sistem kontrol motor ICE berbasis kontrol *fuzzy logic* yang dirancang untuk mengatur kecepatan kapal. Perancangan sistem dimulai dari *Set point* kecepatan motor ICE. Kemudian kontrol *fuzzy logic* memproses data. Hasil kontrol *fuzzy logic* diteruskan ke motor driver (servo) yang bertugas mengatur *fuel rack* motor ICE sehingga motor ICE berjalan sesuai *set point*. Dengan sistem tersebut kapal dapat beroperasi dengan efisien dan stabil.

B. Perancangan Alat

Pada tahap perancangan alat terdiri dari beberapa tahapan yaitu diagram blok perancangan alat, *flowchart* perancangan alat, diagram blok alat dan skema rangkaian elektronika sistem atau *wiring diagram*. Perancangan alat adalah tahap dimana kita membuat atau merancang alat, mulai dari mengetahui alat dan bahan yang digunakan agar alat terancang seperti apa yang diharapkan (Pipit Mulyah et al., 2020). Berikut ini adalah skema perancangan alat pada rancang bangun sistem pengaturan kecepatan *internal combustion engine* berbasis *fuzzy logic*, setiap komponen akan memainkan peran penting dalam pengaturan kecepatan motor sesuai set poin yang telah diatur. Diagram perancangan alat dapat dilihat di gambar 3.2.

1. Blok Diagram



Gambar 3. 2 Diagram Perancangan Alat (a) Perancangan Alat Kapal
(b) Perancangan Alat Motor ICE

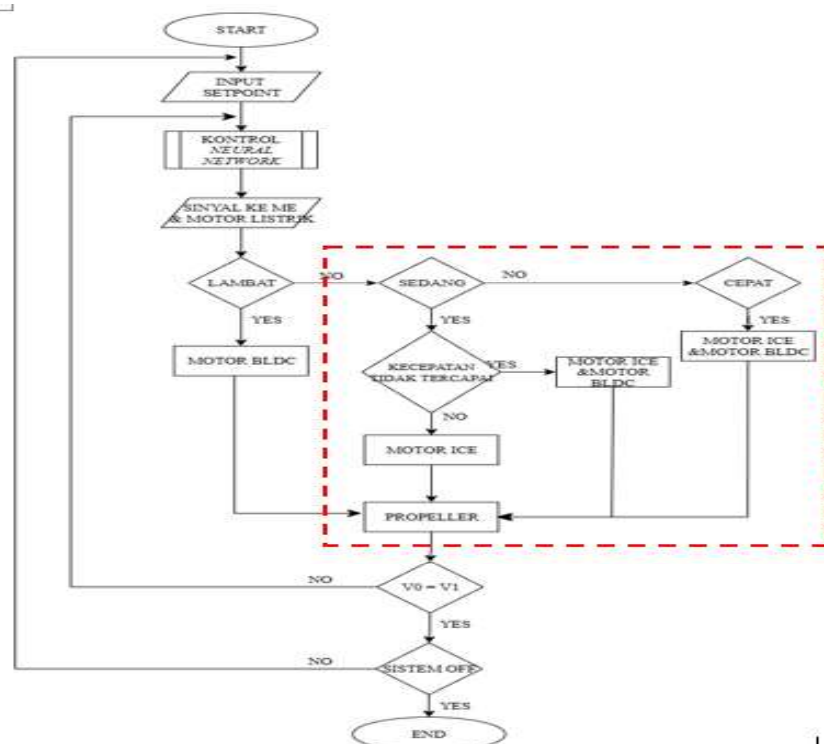
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Diagram blok ini menggambarkan alur kerja sistem kontrol kecepatan motor ICE (*Internal Combustion Engine*) dengan bantuan sensor *photodiode* sebagai alat umpan balik.

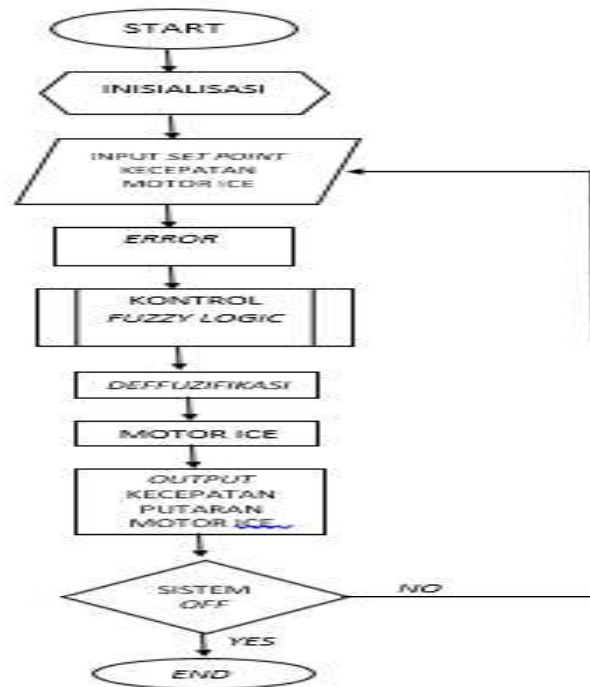
- Set point* kecepatan berfungsi sebagai tahap awal yang digunakan sebagai input untuk mengatur kecepatan motor ICE yang diinginkan. Nilai ini menjadi acuan kecepatan putaran yang harus dicapai oleh motor ICE.
- Kontrol ICE berfungsi sebagai otak pengendali sistem. Digunakan untuk membandingkan antara nilai *set point* dengan nilai kecepatan

- aktual dari sensor *photodiode*. Hasil dari proses ini berupa nilai *error* (selisih kecepatan) yang akan diolah menggunakan metode *fuzzy logic*.
- c. Baterai berfungsi sebagai sumber utama tegangan yang digunakan pada control sistem
 - d. Motor ICE berfungsi sebagai pengaplikasian *output* dari kontroler untuk menghasilkan kecepatan putaran sesuai dengan nilai *set point*.
 - e. Sensor *photodiode* berfungsi untuk mengukur kecepatan putaran aktual motor ICE. *Photodiode* mendeteksi jumlah pulsa cahaya yang dipantulkan oleh objek pada poros motor dan mengubahnya menjadi sinyal digital. Sinyal ini diolah untuk mendapatkan nilai RPM. Nilai kecepatan aktual ini kemudian dikembalikan ke kontroler, sehingga penyesuaian secara terus-menerus untuk mencapai *set point*.

2. Flowchart



(a)



(b)

Gambar 3. 3 Flowchart (a) Flowchart Kapal (b) Flowchart Motor ICE

Sumber : Dokumentasi Pribadi

a. Perancangan Sistem Kendali *Fuzzy Logic*

Sistem pengendali kecepatan motor ICE pada kapal trimaran ini dirancang menggunakan metode logika fuzzy untuk mengatur dua motor ICE. Pemilihan logika fuzzy didasarkan pada kemampuannya mengelola karakteristik sistem yang bersifat non-linier dan perubahan kondisi yang dinamis, yang umumnya sulit dikendalikan dengan pendekatan konvensional.

1) Input Sistem

Sistem ini menggunakan variabel input berupa error RPM, yaitu selisih antara RPM target dengan RPM aktual yang sedang terjadi. Rentang nilai input berkisar antara -5000 hingga +5000

RPM, dengan tipe data berupa bilangan bulat (integer). Salah satu karakteristik khusus dari sistem ini adalah adanya zona nol (zero zone) yang dibuat lebih sempit, sehingga sistem dapat merespons perubahan dengan lebih sensitif, terutama saat perbedaan antara nilai target dan aktual mendekati nol.

2) Fungsi Keanggotaan Fuzzyfikasi

Untuk memproses input berupa error RPM, sistem fuzzy menggunakan lima variabel linguistik yang merepresentasikan kondisi kesalahan kecepatan motor. Masing-masing variabel memiliki simbol, rentang nilai RPM, tipe kurva keanggotaan, dan parameter tertentu yang menentukan bentuk kurvanya. Variabel-variabel tersebut mencakup kondisi dari Negative Large hingga Positive Large, yang dirancang untuk mencerminkan tingkat deviasi RPM dari nilai target secara lebih akurat.

Tabel 3. 1 Tabel Fuzzyfikasi

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Variabel Linguistik	Simbol	Range (RPM)	Tipe Kurva	Parameter
Negative Large	NL	≤ -1700	Trapesium	$(-\infty, -\infty, -5000, -1700)$
Negative Small	NS	-5000 to 0	Segitiga	$(-5000, -1700, 0)$
Zero	ZE	-1700 to +1700	Segitiga	$(-1700, 0, +1700)$
Positive Small	PS	0 to +5000	Segitiga	$(0, +1700, +5000)$
Positive Large	PL	$\geq +1700$	Trapesium	$(+1700, +5000, +\infty, +\infty)$

3) Rule Base Fuzzy Logic

Dalam sistem fuzzy, aturan (rule) digunakan untuk menentukan respons pengendali berdasarkan kondisi error RPM

yang terdeteksi. Setiap aturan terdiri dari pernyataan IF-THEN yang menghubungkan kondisi input dengan aksi servo sebagai output. Lima aturan utama dirancang untuk menyesuaikan sudut servo, yang secara langsung memengaruhi throttle engine, baik dengan mengurangi, mempertahankan, maupun menambah besar sudut sesuai tingkat kesalahan kecepatan.

Tabel 3. 2 Aturan Fuzzy untuk Engine Control

Sumber : Dokumentasi Pribadi

No Rule	Kondisi (IF)	Aksi Servo (THEN)	Perubahan Sudut	Keterangan
R1	Error RPM is NL	Decrease Angle	-1°	Kurangi throttle engine
R2	Error RPM is NS	Decrease Angle	-1°	Kurangi throttle engine
R3	Error RPM is ZE	Hold Position	0°	Pertahankan posisi
R4	Error RPM is PS	Increase Angle	+1°	Tambah throttle engine
R5	Error RPM is PL	Increase Angle	+1°	Tambah throttle engine

4) Defuzzyfikasi

Untuk menghasilkan output berupa perubahan sudut servo, sistem ini menggunakan metode defuzzifikasi Modified Weighted Average dengan penerapan ambang batas (threshold). Output akhir dihitung berdasarkan rumus yang menggabungkan nilai keanggotaan (μ_i) dan nilai output masing-masing aturan (z_i).

Persamaan 3. 1 Rumus Defuzzyfikasi

$$\text{Raw Output} = \left(\sum \mu_i \times z_i \right) / \left(\sum \mu_i \right) \quad (3.1)$$

Keterangan:

μ_i adalah derajat keanggotaan urutan ke-i

z_i adalah nilai output dari aturan ke-i

Nilai Raw Output yang diperoleh kemudian diklasifikasikan menjadi tiga tingkat aksi: $+1^\circ$ jika hasil lebih dari +25, 0° jika berada di antara -25 hingga +25, dan -1° jika kurang dari -25. Pendekatan ini memungkinkan sistem memberikan respons yang lebih stabil dan terkontrol.

b. Implementasi pada Sistem

Seluruh logika fuzzy diimplementasikan pada mikrokontroler STM32, yang berperan sebagai unit pengendali utama. Sensor *Photodiode* digunakan untuk membaca RPM aktual, dan ESP32 digunakan sebagai komunikasi data sensor. Nilai output dari sistem fuzzy dikirim ke motor servo untuk mengontrol motor ICE.

Pada gambar Gambar 3.3, flowchart yang ditampilkan menggambarkan alur kerja sistem pengendalian kecepatan motor ICE berbasis fuzzy logic dalam bentuk berkesinambungan. Proses dimulai dari tahap awal ketika sistem *start*. Setelah sistem aktif, langkah pertama yang dilakukan adalah inisialisasi, dimana seluruh komponen sistem seperti mikrokontroler STM32, sensor, serta koneksi ke motor servo disiapkan untuk bekerja. Inisialisasi ini mencakup konfigurasi komunikasi, pembacaan awal sensor, serta pengaturan dasar sistem kontrol.

Setelah proses inisialisasi selesai, sistem akan menerima input berupa nilai set point kecepatan motor ICE. Nilai ini merupakan kecepatan putaran yang ditargetkan oleh sistem, misalnya dalam satuan

RPM (putaran per menit). Input ini menjadi referensi utama yang akan dijadikan acuan dalam proses kontrol motor ICE.

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

Nilai *error* yang diperoleh kemudian diproses dalam kontrol *fuzzy logic*. Pada tahap ini, sistem fuzzy logic akan melakukan proses fuzzifikasi untuk mengubah nilai numerik error menjadi nilai linguistik seperti negatif besar, negatif kecil, nol, positif kecil, atau positif besar. Nilai ini kemudian diproses berdasarkan sekumpulan aturan IF-THEN (rule base) yang telah dirancang sebelumnya. Proses inferensi fuzzy ini menghasilkan suatu keputusan dalam bentuk nilai fuzzy yang belum bisa langsung digunakan untuk mengontrol motor ICE.

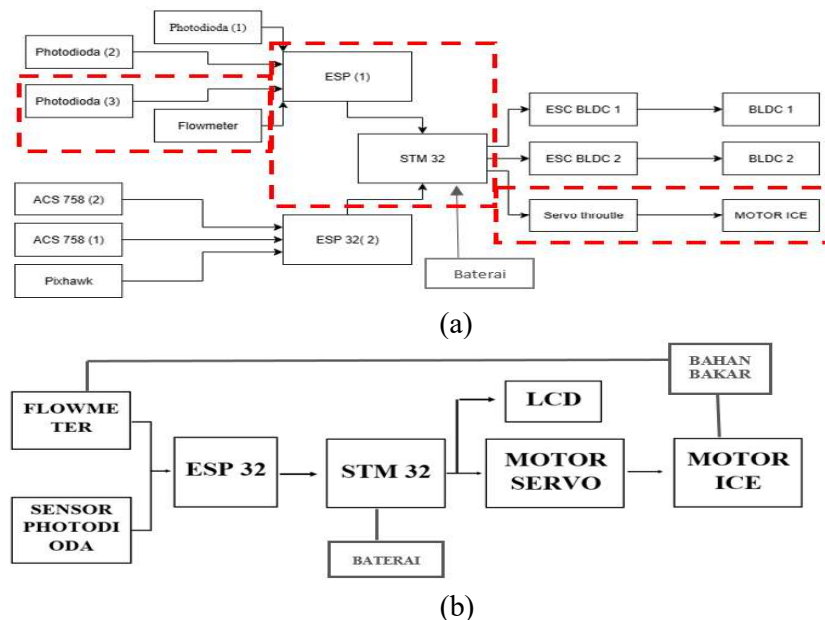
Agar dapat diterapkan dalam sistem fisik, hasil inferensi fuzzy ini perlu melalui proses defuzzifikasi. Proses ini mengubah hasil logika fuzzy ke dalam bentuk nilai konkret atau *crisp value* menggunakan metode *weighted average*. Nilai ini kemudian digunakan untuk mengatur besarnya sudut servo.

Setelah sudut servo ditentukan, maka motor servo akan mengatur *fuel rack* yang bertugas mengatur kecepatan putaran motor ICE. Dengan demikian, motor ICE akan berputar dengan kecepatan yang disesuaikan berdasarkan hasil kontrol *fuzzy logic*.

Selanjutnya, sistem akan membaca kembali kecepatan putaran motor melalui sensor *photodiode* dalam pembacaan output kecepatan aktual motor ICE. Nilai ini sekaligus menjadi umpan balik untuk proses kontrol selanjutnya.

Sebelum sistem mengulang proses kontrol dari awal, sistem terlebih dahulu memeriksa apakah telah ada perintah untuk mematikan sistem. Jika kondisi sistem masih aktif, maka proses akan kembali ke tahap input set point dan berulang terus-menerus secara real-time untuk menjaga kestabilan kecepatan motor. Namun jika sistem mendeteksi perintah untuk berhenti, maka sistem akan masuk ke tahap akhir (end) dan seluruh proses dihentikan.

3. Blok Diagram



Gambar 3. 4 Diagram Alat (a) Blok Alat Kapal (b) Blok Alat Motor ICE

Sumber : Dokumentasi Pribadi

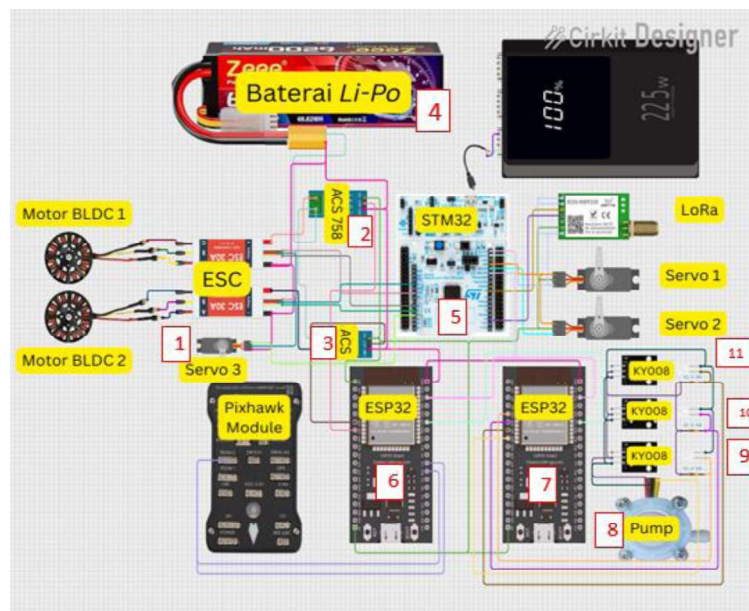
Berikut adalah penjelasan rinci bagaimana komponen-komponen bekerja untuk mendukung fungsi dari rancang bangun pengaturan kecepatan *internal combustion engine* berbasis *fuzzy logic*:

- a. *STM32* : Digunakan sebagai *microcontroller* yang berfungsi untuk pengolah data hasil dari pembacaan sensor kecepatan, sensor bahan bakar dan pengaturan set poin untuk kecepatan motor dengan metode *fuzzy logic* di dalamnya.
- b. Motor Servo : Digunakan sebagai *driver* untuk pengontrolan kecepatan pada motor yang sudah diatur dengan set poin.
- c. Motor ICE : Digunakan sebagai pengaplikasian *output* dari set poin yang sudah dirancang dalam sistem pengaturan kecepatan motor.
- d. *Sensor Photodiode* : Digunakan sebagai pendeteksi kecepatan putaran motor, yang kemudian akan diteruskan terhadap *STM32* dan mini pc untuk ditentukan set poin berikutnya dalam pengaturan kecepatan motor.
- e. *Sensor flowmeter* : Digunakan sebagai pendeteksi volume bahan bakar yang terpakai saat penggunaan motor.
- f. *ESP32* : Digunakan sebagai jembatan komunikasi antara sensor-sensor dan *STM32*, dengan sistem pengumpulan data dari sensor lalu dikirim ke *STM32* agar lebih efektif.
- g. LCD : Digunakan sebagai media tampilan untuk menyajikan data hasil pembacaan dari sensor-sensor.

4. *Wiring Diagram*

Pada perancangan alat ini adapun rancangan sistem perangkat kerasnya akan ditampilkan menggunakan *wiring diagram*. 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, dalam rangkaian ini sensor-sensor akan terhubung kepada STM32 adapun komponen lain yang digunakan dalam perancangan alat. Adapun komponen-komponen seperti sensor *Photodiode*, sensor *flowmeter*, motor servo, dan *Zenoah Engine*. Untuk rangkaian alat tersebut lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar 3.4.



Gambar 3. 5 Wiring Diagram

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada gambar 3.5 adalah contoh *wiring diagram* yang penulis gunakan sebagai acuan perancangan alat, sensor-sensor yang digunakan

akan diproses datanya oleh STM32 adapun penjelasan penempatan pin sensor pada STM32 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 3 Pin Perancangan Alat

Sumber : Dokumentasi Pribadi

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
1	Servo 3 (Throttle)	GND	GND (semua komponen GND)
		VCC	VCC (5V)
		PWM	A2 pada NUCLEO-G0B1RE
2	ACS758 Current Sensor 1	VCC	VCC (5V)
		VCC	VCC (5V)
		GND	GND (semua komponen GND)
		OUT	G35 pada ESP32 1
3	ACS758 Current Sensor 2	VCC	VCC (5V)
		VCC	VCC (5V)
		GND	GND (semua komponen GND)
		OUT	G34 pada ESP32 1
4	Lipo 6200mAh	+	VCC (5V)
		-	GND (semua komponen GND)
5	NUCLEO-G0B1RE	A0	Signal pada ESC 2
		A1	Signal pada ESC 1
		A2	PWM pada Servo 3 (Throttle)
		5V	VCC (5V)
		GND	GND (semua komponen GND)
		SCL/D15	G22 pada ESP32 1
		SDA/D14	G21 pada ESP32 1
6	ESP32 1	GND	GND (semua komponen GND)
		V5	VCC (5V)
		G35	OUT pada ACS758 Current Sensor 1
		G34	OUT pada ACS758 Current Sensor 2
		G22	SCL pada NUCLEO-G0B1RE
		G21	SDA pada NUCLEO-G0B1RE
		G35	C pada Photodiode 1
		G33	C pada Photodiode 2
		G32	C pada Photodiode 3
		GND	GND (semua komponen GND)
7	ESP32 2	V5	VCC (5V)
		G33	OUT pada Water Flow Rate Sensor
		IN positive	VCC (5V)

No	Komponen	Pin Label	Koneksi dengan Komponen Lain
8	Water Flow Rate Sensor YF-S401	GND negative	GND (semua komponen GND)
		OUT signal output	G33 pada ESP32 2
9	KY-008 Laser Emitter 1	SIG	GND (semua komponen GND)
		5V	VCC (5V)
		GND	GND (semua komponen GND)
10	KY-008 Laser Emitter 2	SIG	GND (semua komponen GND)
		5V	VCC (5V)
		GND	GND (semua komponen GND)
11	Photodiode 1	E	GND (semua komponen GND)
		C	G35 pada ESP32 1
12	Photodiode 2	E	GND (semua komponen GND)
		C	G33 pada ESP32 1
13	Photodiode 3	E	GND (semua komponen GND)
		C	G32 pada ESP32 1

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

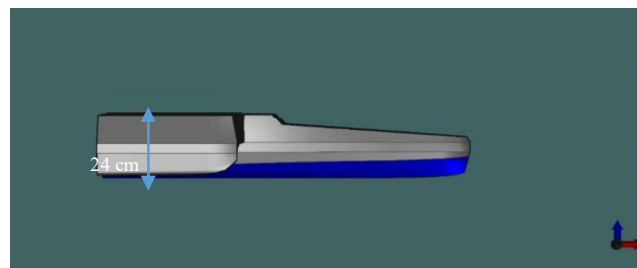
- Pengujian zenoah engine, diujikan dengan cara memeriksa terlebih dahulu sistem bahan bakar dan sistem pengapian. Kemudian nyalakan mesin, setelah menyala amati mesin untuk memastikan tidak ada masalah mekanisme.
- Pengujian STM32, diujikan dengan cara memberikan tegangan 3,3V periksa tegangan pada VCC dan GND dengan multimeter.

Sambungkan board ke PC dan berikan program sederhana untuk mengetahui kinerja STM32 masih berfungsi.

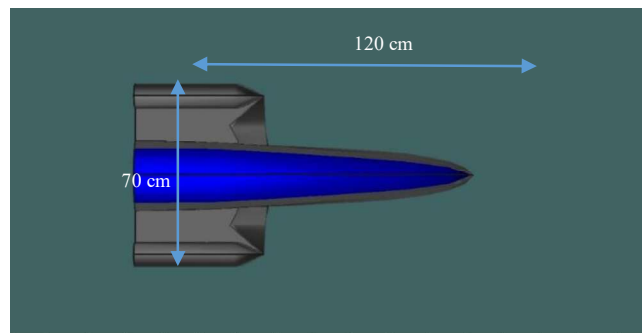
- c. Pengujian motor servo, diujikan dengan cara memberikan tegangan 5V. Setelah itu, berikan sinyal PWM atau program mikrokontroller, jika motor servo bergerak sesuai yang diberikan maka masih berfungsi.
- d. Pengujian sensor *photodiode*, diujikan dengan cara memberikan tegangan 5V. Arahkan sensor ke permukaan bergerak seperti propeler atau roda, kemudian baca keluaran menggunakan software mikrokontroller pastikan nilai kecepatan berubah sesuai objek yang bergerak.
- e. Pengujian sensor flowmeter, diujikan dengan cara memberikan tegangan 5V. Berikan program sederhana dengan ESP32, lakukan pengujian dengan dialiri air pada sensor dan jika *pulse count* (naik/turun) bertambah maka sensor masih bekerja dengan normal.
- f. Pengujian ESP32, diujikan dengan cara memberikan tegangan 3,3V periksa tegangan pada VCC dan GND dengan multimeter. Sambungkan board ke PC dan berikan program sederhana untuk mengetahui esp32 masih bekerja dengan baik.
- g. Pengujian LCD, diujikan dengan cara memberikan tegangan 5V. berikan program sederhana dengan ESP32, jika program bisa dibaca atau di tampilkan di LCD, maka LCD masih bekerja dengan baik.

2. Rencana Pengujian Dinamis

Pengujian akan dilakukan dengan secara langsung oleh peneliti, dengan cara menguji dari kinerja *prototype* alat rancang bangun pengaturan kecepatan *internal combustion engine* berbasis *fuzzy logic* dengan menguji keefektifan kinerja sistem kontrol dan sensor. Pengujian akan dilakukan pada *prototype* kapal trimaran dengan ukuran yang dapat dilihat pada gambar 3.5.



(a) Samping



(b) Bawah

Gambar 3.5 Ukuran *prototype* kapal trimaran (a) Samping (b) Bawah
Sumber : Dokumen Pribadi

Pengujian ini dilakukan dengan menerapkan set poin dari STM32 ke dalam pengaturan kecepatan motor ICE yang di kontrol motor servo pada *throttle*. Saat motor bekerja sensor *phodiode* akan melakukan pemantauan kecepatan putaran motor dan sensor flowmeter akan mendeteksi penggunaan bahan bakar saat motor bekerja. Pengujian ini akan dilakukan dengan gangguan gelombang yang bervariasi untuk membandingkan

performa kecepatan motor ICE. Perbandingan dilakukan dengan sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* dan sistem tanpa kontrol *fuzzy logic* sehingga dapat mengetahui efektivitas kontrol *fuzzy logic* dalam menghadapi gelombang.