

**KONTROL KECEPATAN GERAK MOTOR UNTUK
PENGUKURAN VOLUME SEDIMENT DI SUNGAI DENGAN
*FUZZY LOGIC CONTROLLER***

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG



Disusun oleh :

NUR AZIZAH MAGHFIROH

NIM. 30602000034

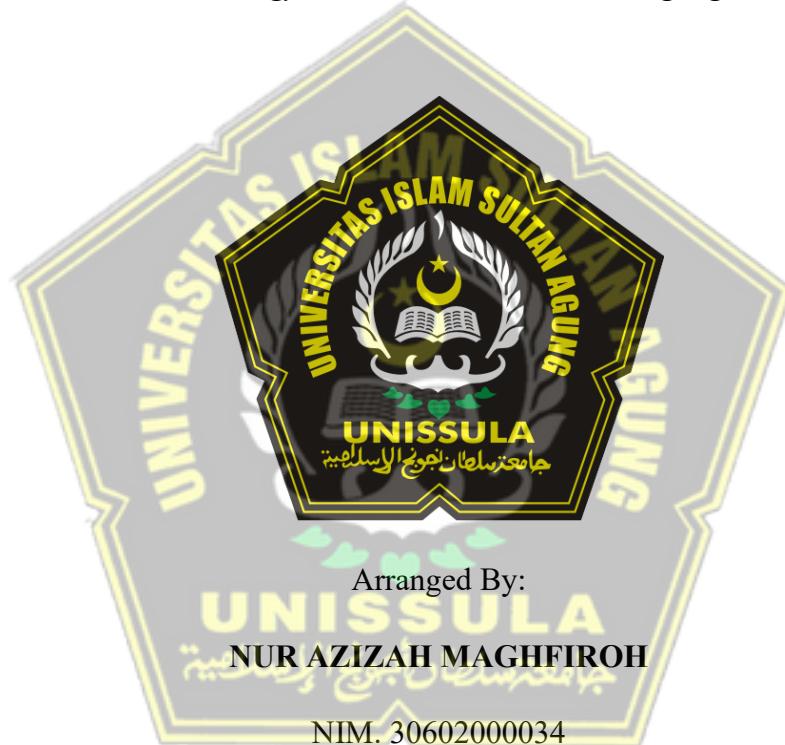
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2025

FINAL PROJECT

MOTOR SPEED CONTROL FOR RIVER SEDIMENT VOLUME MEASUREMENT USING A FUZZY LOGIC CONTROLLER

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Universitas Islam Sultan Agung*



**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "**KONTROL KECEPATAN GERAK MOTOR UNTUK PENGUKURAN VOLUME SEDIMENT DI SUNGAI DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER**" ini disusun oleh:

Nama : Nur Azizah Maghfiroh

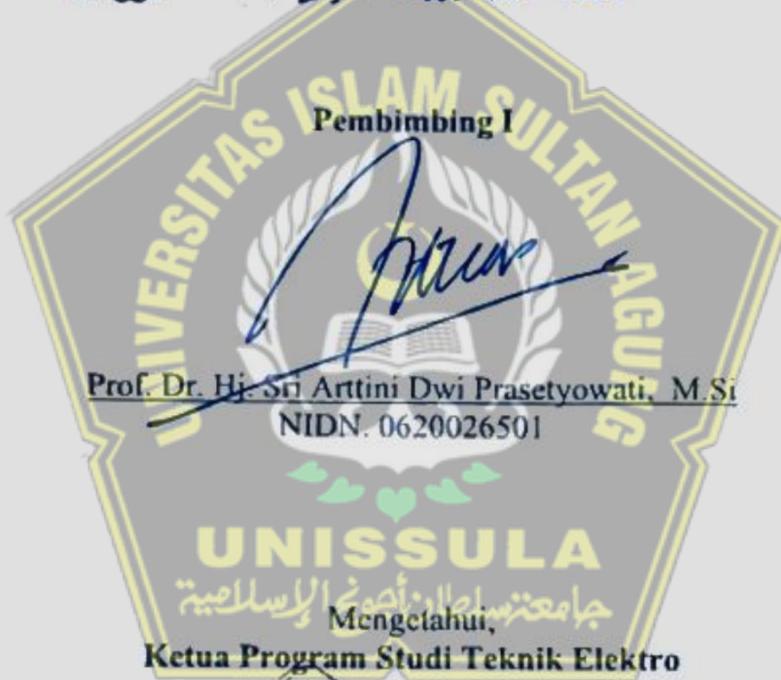
NIM : 30602000034

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 25 - November - 2025



Ketua Program Studi Teknik Elektro

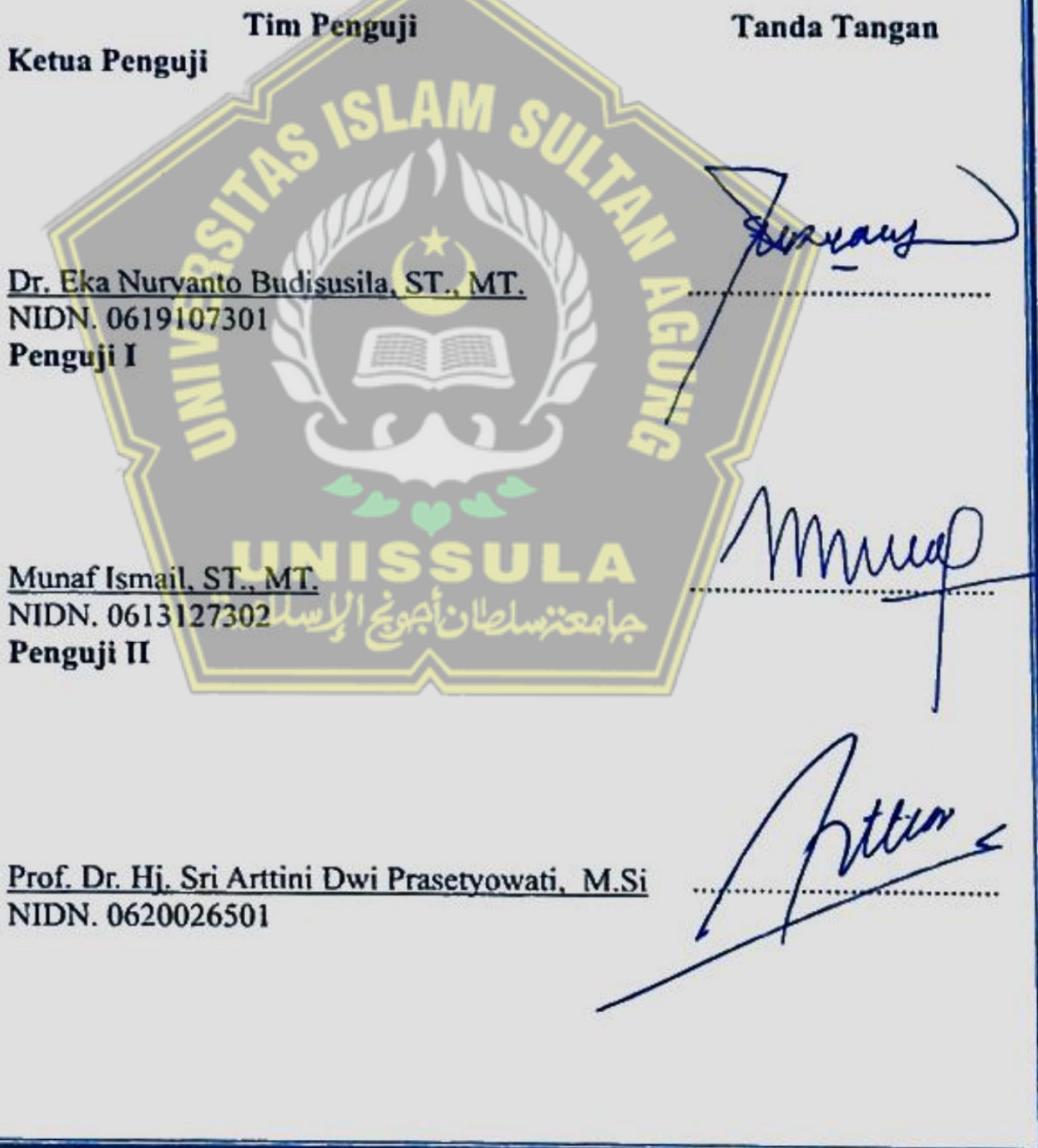


Munaf Ismail, ST., MT.
NIDN. 0613127302

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**KONTROL KECEPATAN GERAK MOTOR UNTUK PENGUKURAN VOLUME SEDIMENT DI SUNGAI DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa
Tanggal : 25 - November - 2025



Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si
NIDN. 0620026501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Azizah Maghfiroh

NIM : 30602000034

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul "**KONTROL KECEPATAN GERAK MOTOR UNTUK PENGUKURAN VOLUME SEDIMENT DI SUNGAI DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER**", adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 20-November-2025

Yang Menyatakan



Nur Azizah Maghfiroh

NIM. 30602000034

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

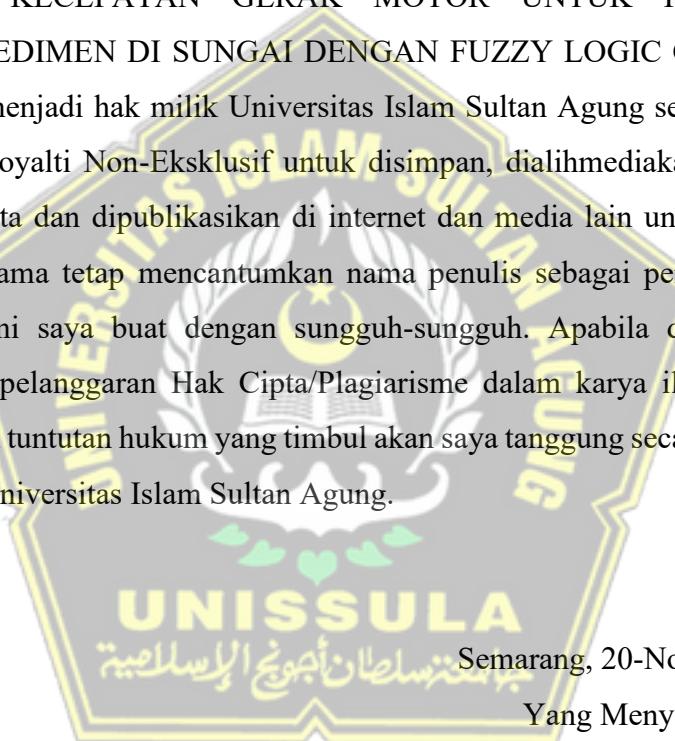
Nama : Nur Azizah Maghfiroh

NIM : 30602000034

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul:
KONTROL KECEPATAN GERAK MOTOR UNTUK PENGUKURAN VOLUME SEDIMENT DI SUNGAI DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER
menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.



Yang Menyatakan

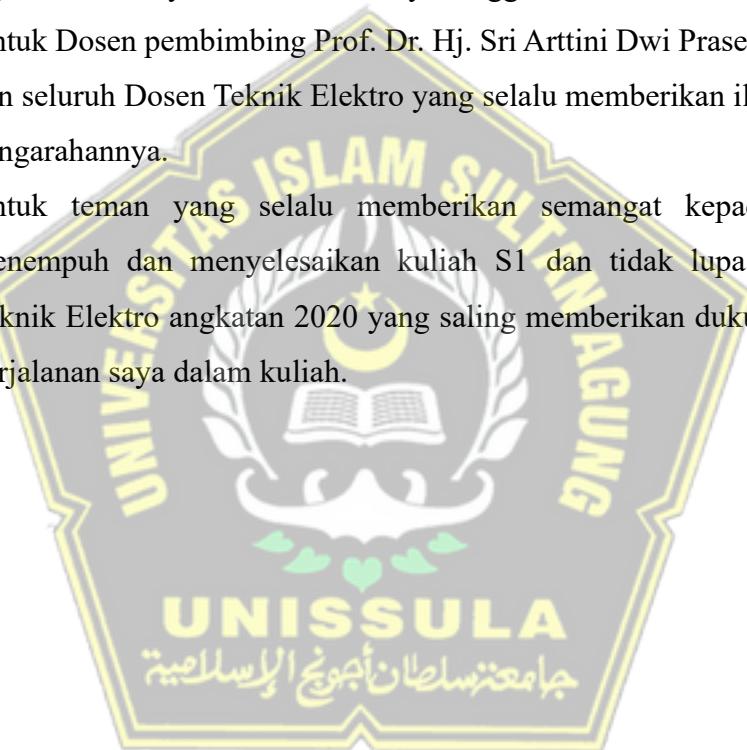
Nur Azizah Maghfiroh

NIM. 30602000034

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam, sungguh perjuangan yang cukup panjang telah aku lalui untuk mendapat gelar sarjana ini. Rasa syukur dan bahagia yang kurasakan ini akan ku persembahkan kepada :

1. Tugas akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai dan banggakan (Bapak Sumadi dan Ibu Siti Khoriyah) yang telah membesarkan saya, memberikan dukungan dan menjadi penyemangat saya untuk menyelesaikan studi saya hingga saat ini.
2. Untuk Dosen pembimbing Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.
3. Untuk teman yang selalu memberikan semangat kepada saya saat menempuh dan menyelesaikan kuliah S1 dan tidak lupa teman-teman Teknik Elektro angkatan 2020 yang saling memberikan dukungan disetiap perjalanan saya dalam kuliah.



MOTTO

Education is the passport to the future

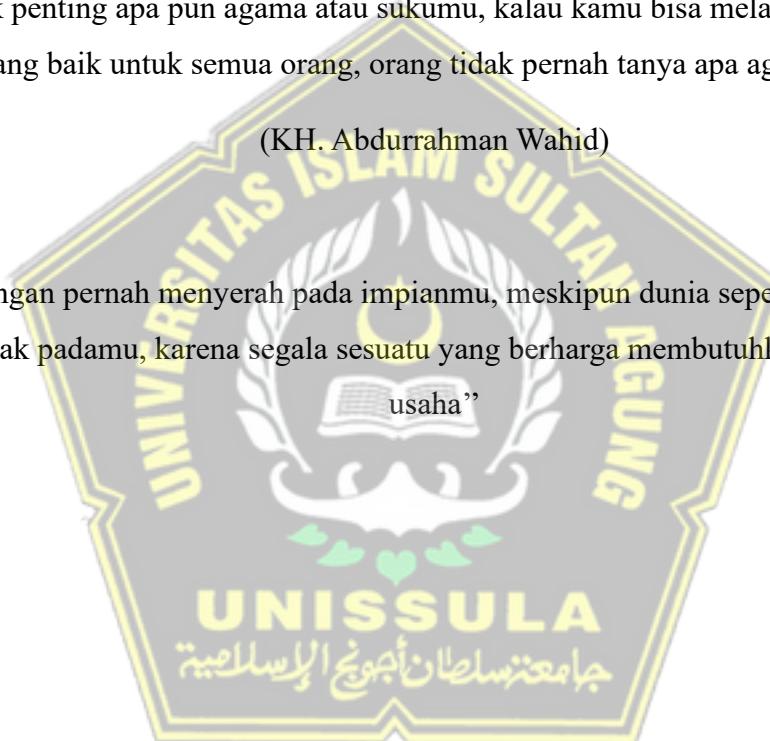
“Pendidikan adalah paspor menuju masa depan”

(Malcolm X)

"Tidak penting apa pun agama atau suku kamu, kalau kamu bisa melakukan sesuatu yang baik untuk semua orang, orang tidak pernah tanya apa agamamu."

(KH. Abdurrahman Wahid)

“Jangan pernah menyerah pada impianmu, meskipun dunia sepertinya tidak berpihak padamu, karena segala sesuatu yang berharga membutuhkan waktu dan usaha”



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat diselesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Kontrol Kecepatan Gerak Motor Untuk Pengukuran Volume Sedimen Di Sungai Dengan *Fuzzy Logic Controller*” dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Novi Marlyana, S.T, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri UNISSULA.
4. Bapak Munaf Ismail, ST., MT. selaku kepala Program Studi Teknik Elektro UNISSULA.
5. Ibu Prof. Dr. Hj. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si selaku Dosen Pembimbing dalam tugas akhir ini dan proyek kapal untuk pendekripsi sedimen.
6. Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT. selaku Dosen Pembimbing dalam proyek kapal untuk pendekripsi sedimen.
7. Bapak Dr. Bustanul Arifin, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing dalam proyek kapal untuk pendekripsi sedimen.
8. Bapak Agus Suprajitno, ST, MT. selaku dosen wali mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2020.
9. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini
10. Kedua orang tua memberikan dukungan moral dan material yang tak ternilai, serta senantiasa mendoakan saya dan juga memberi semangat dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini.

11. Kakak memberikan dukungan moral dan semangat dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman Teknik Elektro Angkatan 2020 khusnya Milla, Atikah, dan Dita yang telah memberi semangat atas pembuatan laporan Tugas Akhir ini.
13. Teman-teman SMA yaitu Iqra, Zefanya, Febi, Niar, Kia, Indarty, Rizky, Angel, Nadia, Febris, Eby, dan Fira yang telah memberi semangat atas pembuatan laporan Tugas Akhir ini.
14. Teman-teman SMP yaitu Cyia, Echa, Dilla, dan Anin yang telah memberi semangat atas pembuatan laporan Tugas Akhir ini.

Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam isi maupun bahasanya, oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca demi penyempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga Laporan Tugas Akhir Ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis khususnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, 20-November-2025



A circular logo for UNISSULA (Universitas Islam Sultan Agung). The outer ring contains the text "UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG" in yellow. The center features a white emblem with a crescent moon above an open book, flanked by two green leaves. Below the emblem, the word "UNISSULA" is written in large, bold, yellow letters, with "جامعة سلطان آتشي الإسلامية" in Arabic script underneath.

Nur Azizah Maghfiroh

DAFTAR ISI

KONTROL KECEPATAN GERAK MOTOR UNTUK PENGUKURAN VOLUME SEDIMENT DI SUNGAI DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER... <i>i</i>	
<i>MOTOR SPEED CONTROL FOR RIVER SEDIMENT VOLUME MEASUREMENT USING A FUZZY LOGIC CONTROLLER.....</i>	<i>ii</i>
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
HALAMAN PERSEMPAHAN	vii
MOTTO.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT.....</i>	<i>xviii</i>
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatas Masalah	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistem Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSATAKA DAN LANDASAN TEORI	5

2.1	Tinjauan Pustaka	5
2.2	Landasan Teori	6
2.2.1	<i>Rotary Encoder</i>	6
2.2.2	Sistem Kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	7
2.2.3	MATLAB (Matrix Laboratory)	11
2.2.4	Arduino Mega 2560 r3	11
2.2.5	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	13
2.2.6	<i>Driver motor BTS7960</i>	14
2.2.7	Motor DC PG45	15
	BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1	Metode Penelitian.....	17
3.2	Rancangan Penelitian	19
3.3.1	Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3.2	Perancangan <i>Hardware</i>	19
3.3.3	Perancangan <i>Software</i>	24
3.3	Pengujian Motor DC PG45	27
3.4	Membuat Model Matematis	28
3.5	Sistem Kontrol <i>Fuzzy logic</i>	33
3.6	Membuat Diagram Blok Pada Simulink	37
	BAB IV DATA DAN ANALISA	38
4.1	Hasil Pengujian	38
4.1.1	Pengujian Motor DC PG45 Dengan Mengatur PWM Pada Arduino	38
4.1.2	Pengujian Model matematis.....	40
4.1.3	Pengujian Respon Fuzzy Logic Pada Simulink	42

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rotary Encoder	6
Gambar 2. 2 Sistem Kontrol Fuzzy Logic	7
Gambar 2. 3 Triangular Fuzzy	9
Gambar 2. 4 Trapesoidal Fuzzy	9
Gambar 2. 5 Gaussian Fuzzy	10
Gambar 2. 6 Bell-shaped	10
Gambar 2. 7 Arduino Mega 2560 r3	11
Gambar 2. 8 Driver motor BTS7960	14
Gambar 2. 9 Motor PG45	15
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian	17
Gambar 3. 2 Diagram Alat Pengukur Volume Sedimentasi	19
Gambar 3. 3 Diagram Blok Rangkaian	21
Gambar 3. 4 Wiring Diagram Driver Motor Penggerak	22
Gambar 3. 5 Selosong Baling-Baling	23
Gambar 3. 6 Flow Chart Arduino	24
Gambar 3. 7 Membuat Workspace dengan nama data_motor	30
Gambar 3. 8 Memasukan Data Input Dan Output ke dalam Workspace	30
Gambar 3. 9 Menjalankan Perintah SystemIdentification	31
Gambar 3. 10 Memilih Time Domain Data	31
Gambar 3. 11 Import Data Dari Workspace	32
Gambar 3. 12 Memilih Transfer Function Model	32
Gambar 3. 13 Tampilan Saat Model Telah Jadi	33
Gambar 3. 14 Variabel Input dan Variabel Output Sistem Fuzzy	33
Gambar 3. 15 Fungsi Keanggotaan Input Error (E)	34
Gambar 3. 16 Fungsi Keanggotaan Input Change of Error (CE)	35
Gambar 3. 17 Fungsi Keanggotaan Output Kecepatan Motor	36
Gambar 3. 18 Rangkain Motor DC Dengan Sistem Fuzzy Logic	37
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Perubahan PWM Terhadap Kecepatan Putar Motor DC PG45	39
Gambar 4. 2 Validasi data model dengan data awal	40

Gambar 4. 3 Hasil Model Matematis Yang Telah Dibuat..... 41



DAFTAR TABEL

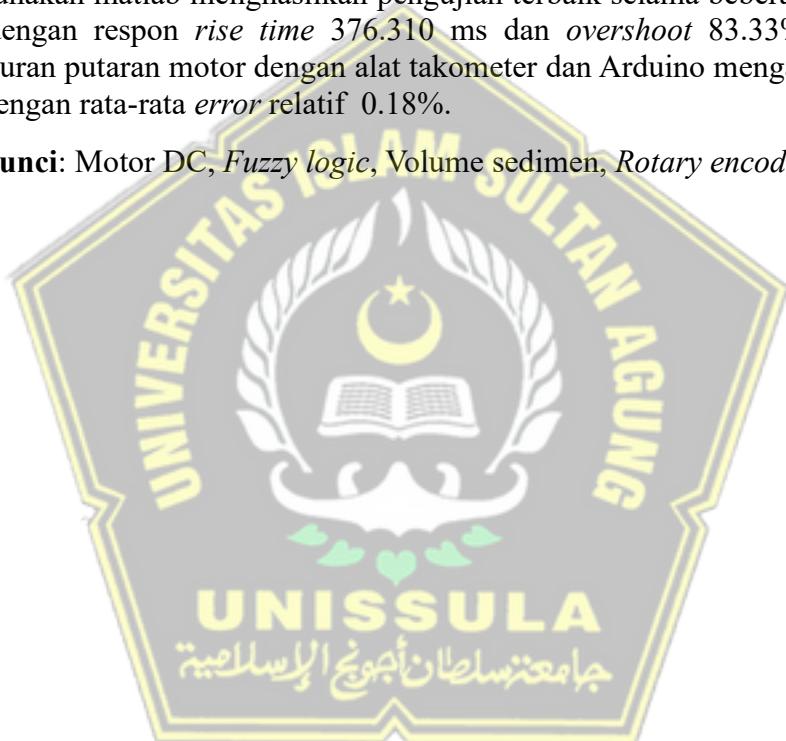
Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Mega 2560 R3	13
Tabel 2. 2 Spesifikasi Motor DC PG45	16
Tabel 3. 1 Rule Base Fuzzy Logic	34
Tabel 4. 1 Hasil Dari Pengujian Motor DC PG45 Dengan Mengatur PWM Pada Arduino	38
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Respon Fuzzy Logic Pada Simulink	42



ABSTRAK

Motor DC berperan sebagai penggerak utama kapal dan dilengkapi dengan *rotary encoder* yang berfungsi untuk mengatur pergerakan sensor dalam mengukur tingkat sedimentasi. *Rotary encoder* ini juga digunakan untuk memantau dan merepresentasikan kecepatan putaran motor DC. Pengujian sistem dilakukan dengan menerapkan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC) untuk mengatur kecepatan motor DC dalam proses mengerakkan kapal sehingga kapal dapat bergerak dengan stabil. Pendekatan berbasis algoritma fuzzy ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi serta efisiensi dalam perhitungan volume sedimen, sekaligus mengurangi potensi kesalahan yang umumnya terjadi pada metode manual. Dengan mengsimulasikan kontrol kecepatan motor dengan algoritma fuzzy logic menggunakan matlab menghasilkan pengujian terbaik selama beberapa percobaan yaitu dengan respon *rise time* 376.310 ms dan *overshoot* 83.33%. Dari hasil pengukuran putaran motor dengan alat takometer dan Arduino menghasilkan putaran sama dengan rata-rata *error* relatif 0.18%.

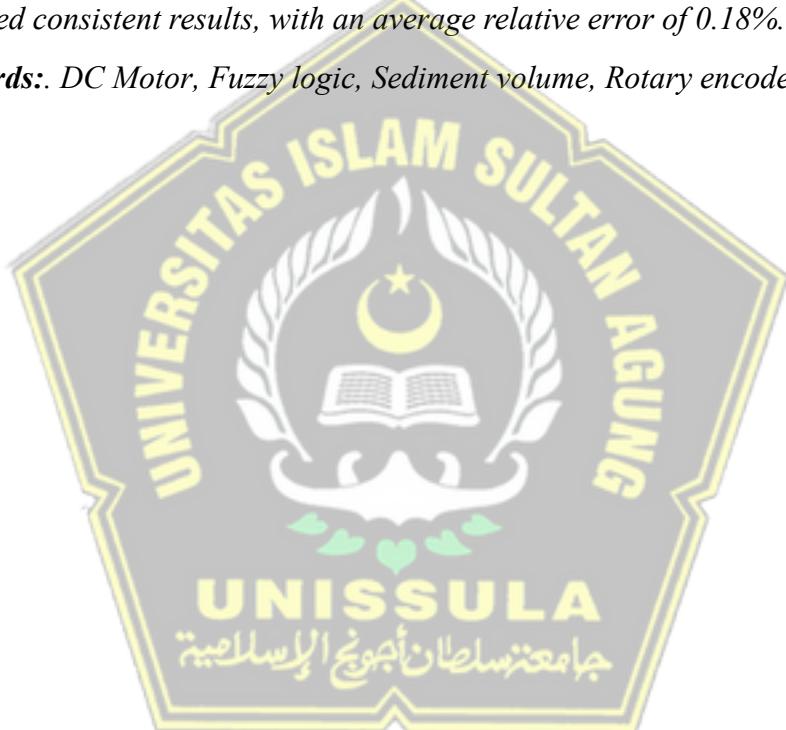
Kata kunci: Motor DC, *Fuzzy logic*, Volume sedimen, *Rotary encoder*, Arduino



ABSTRACT

The DC motor serves as the main drive of the vessel and is equipped with a rotary encoder that functions to regulate the movement of the sensor in measuring sediment levels. This rotary encoder is also used to monitor and represent the rotational speed of the DC motor. System testing was carried out by implementing a Fuzzy Logic Controller (FLC) algorithm to control the DC motor speed in moving the vessel, ensuring stable motion. This fuzzy logic-based approach is expected to improve accuracy and efficiency in sediment volume calculations, while also reducing potential errors that commonly occur in manual methods. Simulating motor speed control using the fuzzy logic algorithm in MATLAB, the best test results were achieved over several trials, with a rise time of 376.310 ms and an overshoot of 83.33%. Motor speed measurements using both a tachometer and Arduino produced consistent results, with an average relative error of 0.18%.

Keywords: DC Motor, Fuzzy logic, Sediment volume, Rotary encoder, Arduino



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai memainkan peran penting dalam ekosistem dan lingkungan. Sungai berfungsi sebagai saluran pengaliran alami yang mengalir dari wilayah dataran yang lebih tinggi ke wilayah dataran yang lebih rendah. Aliran ini dikendalikan dengan adanya gaya gravitasi, yang mendorong air untuk bergerak menuju area yang lebih rendah. Dalam perjalanan alirannya, sungai mengalami proses erosi yang mengikis tanah dan batuan di sekitarnya. Material yang tererosi kemudian dibawa oleh aliran air dan menjadi sedimen lokasi lain. Proses sedimentasi ini terjadi secara alami dan terus-menerus, di mana partikel-partikel yang terendapkan seiring waktu dapat mengurangi kapasitas penampang sungai [1].

Mengukur volume sedimen di sungai menjadi aspek penting untuk pengelolaan sumber daya air dan pemeliharaan ekosistem perairan. Sedimen yang terakumulasi dapat memengaruhi aliran sungai, mengurangi kapasitas daya tampung air, dan berpotensi menyebabkan banjir. Selain itu, sedimen juga dapat memengaruhi kualitas air dan habitat flora serta fauna yang bergantung pada ekosistem sungai. Oleh karena itu, pemantauan dan pengukuran volume sedimen secara rutin penting agar dapat menjaga keseimbangan ekosistem dan mencegah dampak negatif yang lebih besar.

Mengukur volume sedimen sering kali melibatkan teknik manual yang memerlukan waktu dan tenaga yang cukup besar, serta dapat menghasilkan data yang kurang akurat. Dengan berkembangnya teknologi yang semakin maju di zaman modern ini khusnya pada bidang elektronika memungkinkan membuat alat pengukuran volume sedimen didalam dasar perairan. Pengukuran dapat dilakukan secara otomatis oleh prototipe kapal yang dilengkapi sensor ultrasonik. Algoritma pada arduino memungkinkan sensor ultrasonik untuk mengukur panjang, lebar, dan tinggi sedimen bawah air secara akurat. Terdapat motor dc sebagai pergerak utama kapal yang dilengkapi *rotary encoder* yang dapat mengatur pergerakan sensor

untuk dapat mengukur sedimentasi dengan mempersentasikan pada putaran motor DC yang diukur oleh *rotary encoder*. Dan juga terdapat motor servo untuk pengendali perubahan arah kapal.

Penelitian tentang pengukuran sedimen telah dilakukan dengan membuat prototipe dengan motor DC sebagai pengontrol naik turunnya sensor. Penelitian menggunakan *fuzzy logic* untuk mengatur kecepatan agar kecepatan motor DC konstan. Pada penelitian ini menunjukkan hasil dalam menggunakan pendekatan algoritma *fuzzy logic* lebih baik dibandingkan dengan penggunaan pendekatan algoritma PID (*Proportional Integral Controller*), tetapi dalam penelitian ini motor DC sebagai penggerak sensor untuk menaik turunkan sensor, belum menjadi penggerak kapal [2].

Penelitian ini menguji kontrol kecepatan gerak motor untuk pengukuran volume sedimen di sungai menggunakan algoritma *fuzzy logic controller* agar dapat mengontrol kecepatan gerak motor terhadap kapal. Pengontrol logika *fuzzy* menggunakan logika linguistik untuk dapat memproses informasi yang bersifat tidak pasti dan kompleks. Hal ini memungkinkan sistem untuk bisa beradaptasi dengan keadaan sekitar yang dinamis. Dengan pendekatan algoritma *fuzzy logic* dapat meningkatkan keakuratan dan efisiensi dalam penghitungan volume sedimen, sekaligus meminimalkan potensi kesalahan yang sering muncul pada metode manual.

1.2 Perumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

Bagaimana mengatur kecepatan motor untuk mengukur volume sedimen di bawah air menggunakan algoritma *fuzzy logic*.

1.3 Pembatas Masalah

Pembatas masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tidak membahas torsi pada motor yang digunakan

2. Pengujian dan penelitian dilakukan pada ruang riset milik Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

1.4 Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Mengatur kestabilan kecepatan motor dengan algoritma *fuzzy logic*.

1.5 Manfaat

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperkaya literatur ilmiah terkait tentang penggunaan algoritma *fuzzy logic* dalam mengatur perangkat motor untuk pengukuran di lingkungan bawah air.
2. Membuka jalan atau meningkatkan teknologi baru yang dapat digunakan oleh peneliti kedepanya.

1.6 Sistem Penulisan

Tugas akhir ini disusun dengan sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berfokus pada pembahasan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSATAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisikan pembahasan dari penelitian sebelumnya yang menunjang penelitian penulis. Serta menjelaskan tentang teori yang digunakan sebagai dalam penelitian untuk menjadi acuan dalam menyusun penulisan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan pembahasan metode penelitian yang digunakan penulis, langkah-langkah pemodelan perancangan dari alat yang dibuat pada tugas akhir baik perancangan hardware maupun software.

BAB IV DATA DAN ANALISA

Pada bab ini berisi data yang hasil dari pengujian alat, hasil dari simulasi yang sudah dilakukan dan menganalisis hasil dari pengujian alat dan hasil simulasi yang telah dilaksanakan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini 4variable4c dari hasil penelitian tugas akhir yang dilakukan ,serta saran dari peneliti untuk menjadi acuan pada penelitian-penelitian ke depannya sehingga dapat dikembangkan.



BAB II

TINJAUAN PUSATAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

“Rancang Bangun Kapal Pengukur Volume Sedimen” membahas tentang pengontrolan kecepatan motor menggunakan algoritma pid. Pada penelitian ini sistem *rotary encoder* digunakan untuk mendukung pengendalian berbasis PI dengan tujuan menetukan nilai proposional dan integral yang diperlukan dalam perhitungan RPM motor pengerak PG45 dan PG28. PG28 berfungsi menggerakan yang menaikkan maupun menurunkan sensor inframerah yang terletak dibagian bawah alat. Nilai PI yang diperoleh selanjutnya dapat digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor bagian depan dan belakang. Penerapan algoritma PI terbuti meningkatkan perfoma sistem, karena mampu menghasilkan respon RPM yang lebih dibandingkan tanpa PI, sekaligus menjaga kestabilan dengan mengoreski nilai pulsa yang dibaca dari *rotary encoder* [3].

“Prototipe Alat Pengukur Volume Sedimen Di Dasar Sungai Berbasis Arduino Mega 2560” merupakan riset tentang prototipe alat untuk megukur volume sedimen dengan menggunakan sensor *infrared*. Pada penilitian ini menggunakan dua motor DC sebagai pengeraknya yang dimana dua motor DC ini pasang dikanan dan dikiri alat. Dengan begitu pada alat bergerak dengan menggunakan dua motor DC. Algoritma yang digunakan adalah algoritma PID sebagai algoritma yang digunakan untuk mengatur kecepatan kedua motor tersebut sehingga kedua motor tersebut dapat berputar dengan kecepatan yang sama [4].

“*Hybrid FLC-LMS Algorithm for Predicting Sediment Volume in the River*” adalah penelitian tentang pembuatan prototipe dengan motor DC sebagai pengontrol naik turunya sensor menggunakan *fuzzy logic*. Pada penelitian membandingkan antara dua algoritma untuk dapat mengontrol naik turunya sensor yang menggunakan motor DC. Pada hasil menunjukkan menerapkan algoritma *fuzzy logic* lebih baik dibandingkan dengan penerapan algoritma PID (*Proportional Integral Controller*) [2].

“Sistem Kontrol Mini Lift Barang Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Dc Berbasis Labview” membahas tentang perangkat keras mini lift dirancang dengan memanfaatkan sensor rotary encoder sebagai alat ukur kecepatan, disertai dengan pemodelan sistem, perancangan *fuzzy logic controller* (FLC), validasi model, hingga implementasi FLC serta pengujian respon sistem menggunakan aplikasi MATLAB 2009 dan LabVIEW 2014. Proses penentuan parameter *fuzzy* dilakukan dengan membangun himpunan *fuzzy* pada 6 variable *input*, yaitu *error* dan *delta error*, serta pada 6 variable *output*, kemudian disusun menjadi 6 variable aturan dasar (*rule base*). Parameter hasil perancangan tersebut diaplikasikan pada plant mini lift dan mampu menghasilkan respon osilasi yang baik. Pada setpoint 40 rpm, sistem memberikan kinerja optimal dengan *error* keadaan tunak (*steady state error*) yang sangat kecil, yaitu hanya sebesar 0,2% [5].

Berbeda dari studi-studi terdahulu, penelitian ini dilakukan mengkontrol untuk kecepatan motor. Hal ini sangat diperlukan mengingat perhitungan panjang, lebar dan tinggi dilakukan dengan menggunakan *rotary encoder* yang mengharuskan kecepatan motor dalam kondisi tetap. Untuk pengontrol kecepatan gerak kapal menggunakan algoritma *fuzzy logic*. Dengan perangkat-perangkat tersebut, penelitian ini dapat menghasilkan nilai hasil pengukuran yang lebih tepat.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Rotary Encoder



Gambar 2. 1 *Rotary Encoder*

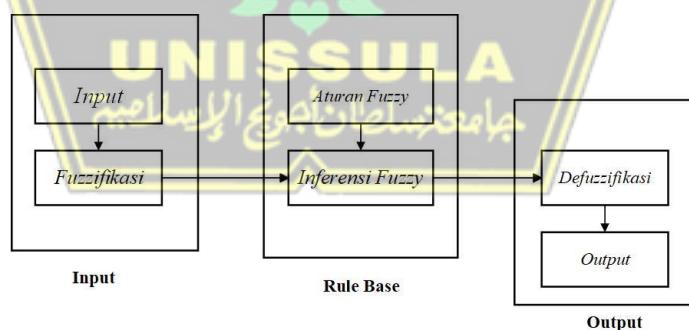
Rotary encoder adalah sensor elektromekanis yang berfungsi memantau posisi suatu poros yang sedang berputar. Gerakan rotasi poros akan dikonversi oleh

rotary encoder menjadi sinyal digital berbentuk pulsa. Sinyal ini kemudian dikirimkan ke unit pengendali, seperti mikrokontroler atau *Programmable Logic Controller* (PLC). Berdasarkan data pulsa yang diperoleh, pengendali dapat menghitung sudut rotasi poros dan mengolahnya menjadi informasi terkait kecepatan putaran, arah pergerakan, serta posisi rotasi sumbu [6].

2.2.2 Sistem Kontrol Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* adalah suatu metode yang digunakan untuk melakukan pemetaan dari ruang masukan (*input*) menuju ruang keluaran (*output*). Berbeda dengan logika *biner* yang hanya mengenal dua kondisi, logika *fuzzy* mampu menangani permasalahan yang lebih rumit dengan mempertimbangkan berbagai kemungkinan nilai di antara keduanya. Hal ini menjadikan logika *fuzzy* sangat relevan untuk diaplikasikan pada permasalahan di dunia nyata, yang umumnya kompleks dan tidak dapat direduksi menjadi sekadar benar atau salah. Dengan demikian, logika *fuzzy* memungkinkan sistem untuk mengambil 7variable7 yang lebih realistik, adaptif, dan menyerupai cara berpikir manusia.[16].

Fuzzy logic control suatu metode kendali yang didasari dari pemikiran manusia. Urutan logika pada logika fuzzy sebagai berikut ini:



Gambar 2. 2 Sistem Kontrol Fuzzy Logic

Fungsi pada bagian logika *fuzzy*

a. Input

Pada sistem kendali berbasis logika *fuzzy*, input merupakan nilai berupa bilangan real yang diperoleh dari hasil pengukuran suatu proses. Nilai

input ini berfungsi sebagai data awal yang akan diproses lebih lanjut dalam sistem *fuzzy*. Input tersebut dapat berupa *error*, perubahan *error*, atau 8ariable lain sesuai dengan perancangan sistem kendali.

b. *Fuzzifikasi*

Fuzzifikasi adalah tahap pertama dalam pemrosesan logika *fuzzy* yang berfungsi untuk mengubah nilai *input* berupa bilangan real (*non-fuzzy*) menjadi suatu himpunan *fuzzy*. Proses ini dilakukan dengan cara memetakan bilangan real ke dalam derajat keanggotaan tertentu pada fungsi keanggotaan (*membership function*). Selanjutnya, nilai input dikategorikan ke dalam 8ariable 8ariable8c, misalnya “rendah”, “sedang”, atau “tinggi”, sehingga dapat diperlakukan sebagai masukan *fuzzy*.

c. *Rule Base*

Rule base atau basis aturan berfungsi sebagai penghubung antara 8ariable *input* dan *output*. Aturan pada logika *fuzzy* disusun dalam bentuk pernyataan *IF–THEN* (atau dalam 8ariab Indonesia: *JIKA–MAKA*), yang mencantoh pola pemikiran manusia dalam hal mengambil 8ariable8. Dengan adanya *rule base*, sistem *fuzzy* dapat memproses masukan yang telah *difuzzifikasi* untuk menghasilkan keluaran dalam bentuk himpunan *fuzzy*.

d. *Inference*

Inference merupakan tahap penalaran dalam logika *fuzzy* yang bertugas mengubah masukan *fuzzy* menjadi keluaran *fuzzy* berdasarkan aturan yang ada pada *rule base*. Pada tahap ini, dilakukan proses evaluasi terhadap setiap aturan *fuzzy* yang berlaku, sehingga dihasilkan suatu himpunan *fuzzy* pada domain keluaran. Dengan kata lain, *inference* adalah suatu proses pengambilan 8ariable8 dalam sistem *fuzzy* berdasarkan aturan yang telah ditetapkan sebelumnya.

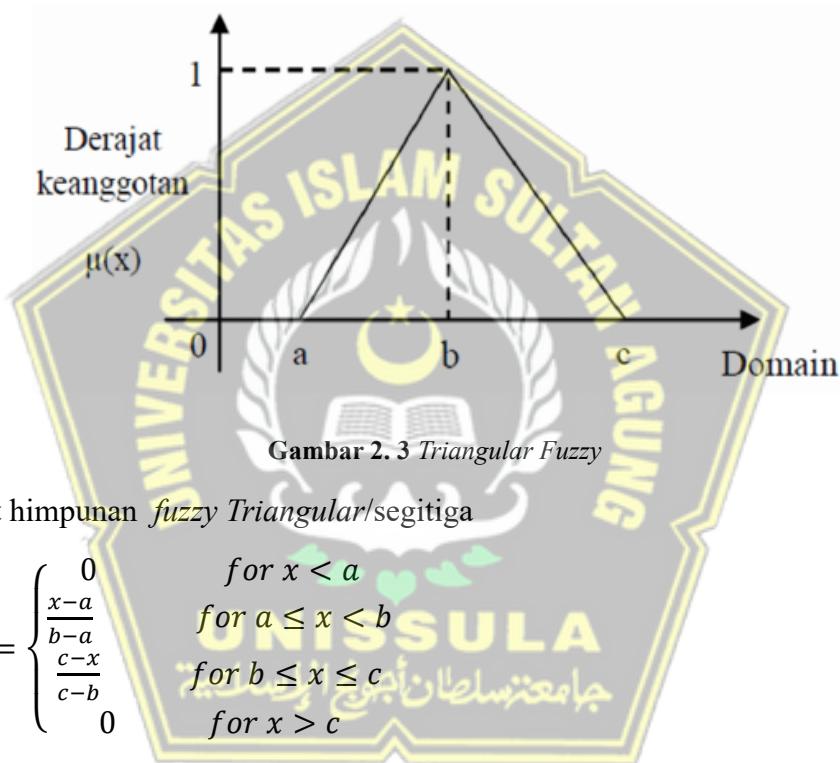
e. *Defuzzifikasi*

Defuzzifikasi tahap akhir logika *fuzzy* yang berfungsi untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai nyata (*crisp value*) agar dapat digunakan sebagai sinyal 8ariabl. Proses ini penting karena keluaran *fuzzy* masih berupa himpunan 8ariable8c yang tidak dapat diaplikasikan langsung pada plant. Beberapa metode *defuzzifikasi* dapat digunakan, salah satunya adalah *Mean of Maximum* (MOM), yang banyak dipakai

karena kesederhanaannya. Hasil dari tahap *defuzzifikasi* berupa aksi 9variabl yang sesuai dengan prediksi distribusi keluaran *fuzzy*, sehingga sistem dapat beroperasi secara optimal [17].

Pada sistem fuzzy setiap nilai linguistic dari saatu variabel dinyatakan dengan sebuah himpunan *fuzzy* [18]. Beberapa bentuk himpunan *fuzzy* yang sering digunakan pada sistem fuzzy diantara:

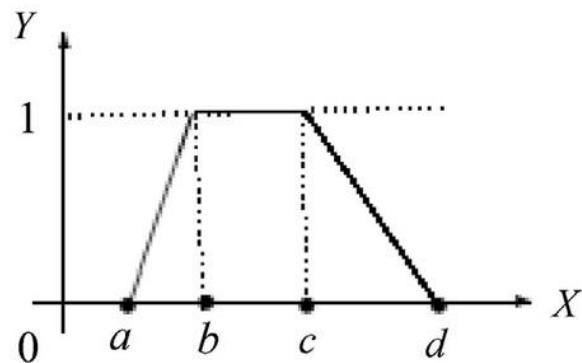
- *Triangular/segitiga*



Berikut himpunan *fuzzy* *Triangular/segitiga*

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{for } x > c \end{cases} \quad (2.1)$$

- *Trapesoidal*

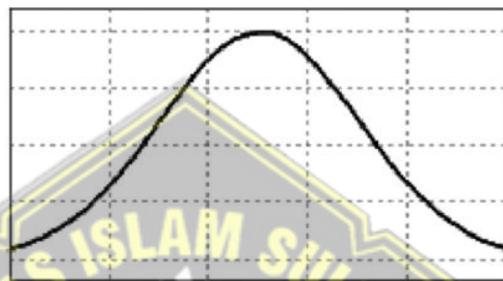


Gambar 2.4 Trapesoidal Fuzzy

Berikut himpunan *fuzzy trapesoidal*

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x < b \\ 1 & \text{for } b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for } x > d \end{cases} \quad (2.2)$$

– *Gaussian*

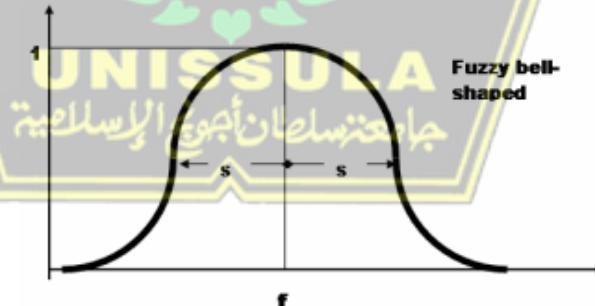


Gambar 2. 5 Gaussian Fuzzy

Berikut himpunan *fuzzy Gaussian*

$$\mu_F(x) = e^{-(x-c_F)^2/w^2} \quad (2.3)$$

– *Bell-shaped*



Gambar 2. 6 Bell-shaped

Berikut himpunan *fuzzy Bell-shaped*

$$\mu_F(x) = \frac{1}{1+(x-c_F)^2} \quad (2.4)$$

2.2.3 MATLAB (Matrix Laboratory)

MATLAB (Matrix Laboratory) perangkat lunak yang digunakan dalam kegiatan analisis dan komputasi numerik dengan menggunakan prinsip dasar matriks. Sebagai produk perusahaan MathWorks, Inc., MATLAB salah satu pilihan aplikasi banyak dimanfaatkan dalam bidang akademis maupun industri, khususnya untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan aljabar linier, persamaan diferensial, dan berbagai perhitungan matematis lainnya. Kelebihan utama MATLAB adalah ketersediaan fungsi-fungsi built-in yang sangat lengkap, sehingga dapat memudahkan pengguna dalam mengolah data numerik berbasis matriks yang sering kali sulit diselesaikan melalui metode konvensional [19].

2.2.4 Arduino Mega 2560 r3



Gambar 2. 7 Arduino Mega 2560 r3

Mikrokontroler ATmega2560 yang digunakan pada papan Arduino Mega 2560 telah dilengkapi dengan pemrograman awal yang dikenal sebagai *bootloader*. Fungsi dari *bootloader* ini adalah untuk mempermudah proses pemrograman melalui perangkat lunak Arduino tanpa memerlukan alat tambahan. Selain dari itu, dalam Arduino Software juga tersedia berbagai contoh program yang dapat digunakan untuk mempelajari mikrokontroler. Papan pengembang Arduino Mega 2560 R3 juga dilengkapi dengan adanya *polyfuse* yang dapat di-reset secara otomatis untuk dapat mengaankan port USB komputer atau laptop dari risiko arus pendek atau kelebihan arus [7].

Sebuah board pengembangan mikrokontroler yang dikembangkan oleh arduino.cc, menjadi landasan utama dalam berbagai proyek elektronika dan robotika. Board ini mengusung mikrokontroler atmega 2560, sebuah inti avr 8-bit, yang memberikan kemampuan pemrosesan data yang luas dengan kecepatan 16 mhz dan kapasitas memori sebesar 256 kb *flash*, 8 kb ram, dan 4 kb eeprom, bahasa pemrograman berbasis Wiring. Dilengkapi dengan berbagai pin I/O, termasuk 54 pin digital dan 16 pin analog, board ini mendukung konektivitas yang luas dengan berbagai sensor dan aktuator. Kemampuan PWM pada 15 pin memungkinkan pengaturan intensitas atau kecepatan perangkat seperti motor DC atau LED [8].

Arduino Mega 2560 salah satu jenis papan pengembangan arduino yang menggunakan mikrokontroler ATmega2560. Berdasarkan spesifikasi *datasheet*, papan ini menyediakan 54 pin digital *input/output*, mencakup 15 pin mendukung fungsi *Pulse Width Modulation* (PWM), 16 pin berfungsi sebagai input analog, serta 4 port UART untuk komunikasi serial berbasis perangkat keras. Selain itu, papan ini dilengkapi dengan osilator kristal berfrekuensi 16 MHz, koneksi USB, jack daya eksternal, *header ICSP*, dan tombol reset. Dengan adanya kelengkapan komponen tersebut, Arduino Mega 2560 dapat berfungsi secara mandiri tanpa memerlukan rangkaian tambahan, cukup dengan mengkoneksikannya ke komputer mengunakan kabel USB atau memberikan suplai daya melalui adaptor AC-DC maupun baterai [9].

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Mega 2560 R3

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Mikrokontroler	Atmega2560
2.	Operating voltage	5v
3.	Input voltage (recommended)	7-12v
4.	Input voltage (limit)	6-20v
5.	Digital i/o pins	54 (of which 15 provide pwm output)
6.	Analog input pins	16
7.	Dc current per i/o pin	20 ma
8.	Dc current for 3.3v pin	50 ma
9.	Flash memory	256 kb of which 8 kb used by bootloader
10.	Sram	8 kb
11.	Eeprom	4 kb
12.	Clock speed	16 mhz
13.	Led_builtin	13
14.	Length	101.52 mm
15.	Width	53.3 mm
16.	Weight	37

2.2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) atau dalam bahasa Indonesia dapat disebut dengan Modulasi Lebar Pulsa suatu teknik modulasi yang digunakan untuk merubah lebar sinyal,dengan tetap mempertahankan frekuensi serta amplitudo pada kondisi yang konstan [14].

Karakteristik amplitudo dan frekuensi dasar yang kostan yang dimiliki PWM sehingga nilai puncak dan jumlah siklus per detik tidak mengalami perubahan. Perbedaan sinyal PWM terdapat pada variasi lebar pulsa yang dihasilkan. Lebar pulsa ini tidak bersifat acak, melainkan bergantung pada besarnya amplitudo sinyal masukan yang belum dimodulasi. Dengan kata lain, semakin besar amplitudo sinyal asli, maka akan semakin lebar pulsa PWM yang terbentuk dan sebaliknya. Hubungan yang saling berbanding lurus ini lah yang menjadikan PWM banyak digunakan dalam sistem kendali maupun konverai daya dikarenakan dapat merepresentasikan informasi amplitudo sinyal dalam bentuk variasi durasi pulsa tanpa mengubah amplitudo maupun frekuensi [15].

2.2.6 Driver motor BTS7960



Gambar 2. 8 Driver motor BTS7960

Driver motor merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengontrol pergerakan motor, termasuk arah putaran yang dapat diatur searah maupun berlawanan arah jarum jam. Pada penelitian ini, digunakan rangkaian driver motor berbasis *full H-Bridge* yang terintegrasi dalam IC BTS7960. Setiap motor DC dikendalikan secara independen menggunakan IC BTS7960. IC BTS7960 mampu menangani arus hingga 43A dan mendukung pengendalian kecepatan motor melalui sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) [10].

Driver motor berfungsi sebagai penguat arus, yaitu mengkonversi sinyal kontrol berarus dari Tingkat rendah berubah arus dengan Tingkat yang lebih tinggi

agar mampu mengendalikan motor secara efektif. *Driver motor* tipe BTS7960 sebagai komponen utama dalam sistem penggerak [11].

2.2.7 Motor DC PG45



Gambar 2. 9 Motor PG45

Motor DC merupakan perangkat elektromekanik yang mengonversi energi listrik berbasis arus searah menjadi gerakan mekanik berupa gerakan torsi. Seiring waktu, motor jenis ini telah mengalami berbagai modifikasi guna menyesuaikan dengan kebutuhan aplikasinya. Salah satu bentuk pengembangan adalah Motor DC *Geared*, yaitu motor yang dilengkapi dengan sistem *planetary gear*. Keberadaan gear tersebut berfungsi untuk meningkatkan torsi keluaran motor, sehingga motor mampu menggerakkan beban yang lebih besar dengan efisiensi dan kekuatan yang lebih baik dibandingkan Motor DC konvensional. [12].

Berdasarkan sumber arus yang digunakan pada kumparan medannya, motor DC dikelompokan menjadi dua kelompok utama, yaitu motor DC dengan eksitasi terpisah (*separately-excited DC motor*) dan motor DC dengan eksitasi sendiri (*self-excited DC motor*). Proses konversi energi ini membutuhkan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan, yang berperan membentuk medan magnet. Medan magnet tersebut kemudian menghasilkan gaya elektromagnetik yang diterjemahkan menjadi energi mekanik berupa putaran.[13].

Tabel 2. 2 Spesifikasi Motor DC PG45

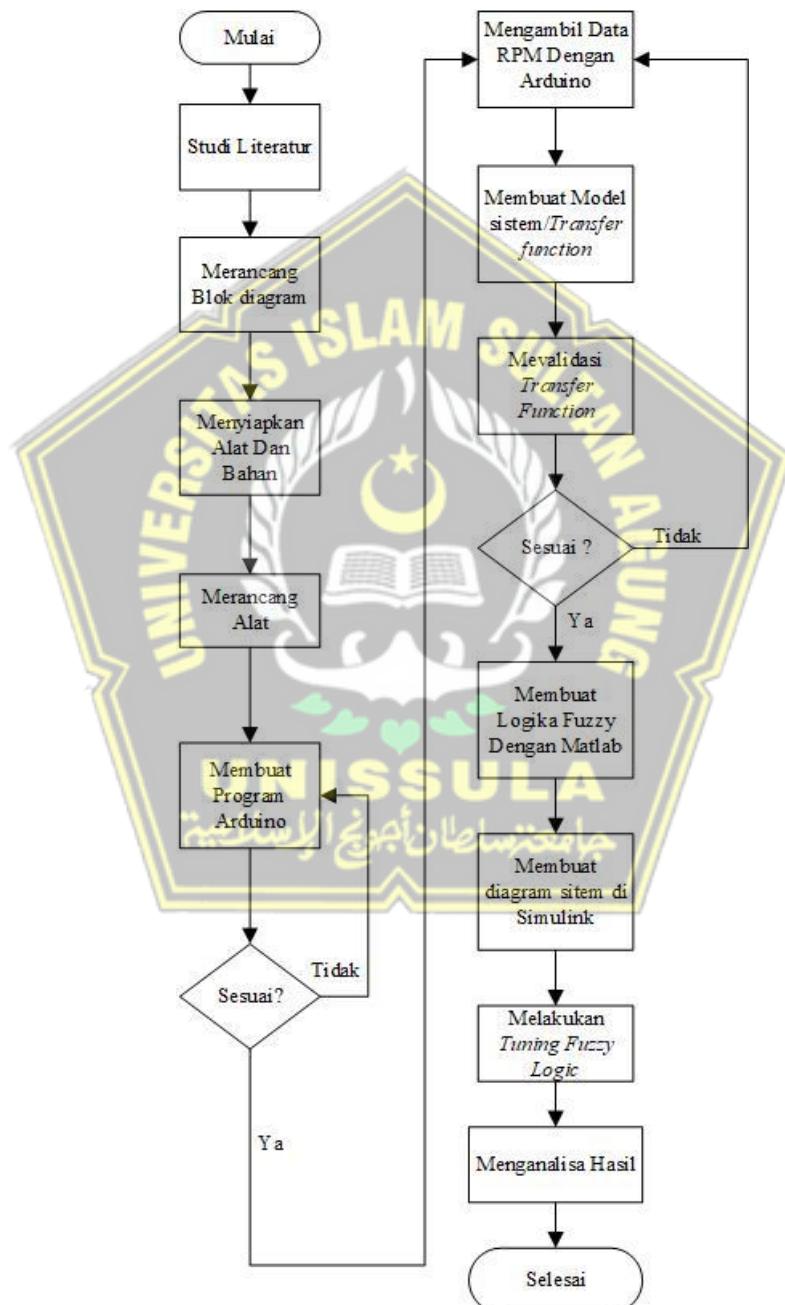
No	Parameter	Nilai dan satuan
1	Diameter <i>body</i> motor	45 mm
2	Panjang <i>body</i> motor	125 mm
3	Rasio <i>gear box</i>	1 : 19
4	Diameter <i>shaft</i> motor	10 mm
5	Arus maksimal	4 ampere
6	Tegangan	24 volt dc
7	Daya	60 watt
8	Torsi konstan	25 kg/cm
9	Torsi stall	50 kg/cm
10	<i>Speed</i>	500 rpm
11	Berat	800 gram
12	Pulsa rotary encoder	7 ppr
13	<i>Chanel</i> rotary encoder	2 <i>Chanel</i>

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Berikut adalah alur dari penelitian yang dilakukan:



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mencari sumber literatur yang digunakan untuk mempelajari konsep-konsep yang terkait dengan perancangan dan pembuatan alat. Mencari sumber literatur dari berbagai macam dari bentuk *hardcopy* maupun *softcopy* seperti jurnal, Laporan tugas akhir, buku serta juga *ebook*. Berbagai literatur yang sudah dicari dijadikan referensi dalam penelitian ini. Pengumpulan literatur sudah tercapai selanjutnya merancang blok diagram sehingga dapat mempermudah dalam perancangan alat dan persiapan alat yang digunakan.

Selanjutnya meyiapkan alat dan bahan yang akan dipakai dalam penelitian. Sehingga dapat merancang alat yang mencakup perakitan perangkat keras, dan rangkain elektronik. Pemasangan rangkaian elektronika dan fitur-fitur tambahan pada bodi kapal. Tahapan perancangan alat yang pertama adalah penentuan spesifikasi alat yang kemudian dilanjutkan dengan pembuatan diagram blok sistem secara keseluruhan. Pada perancangan alat untuk mengontrol kecepatan motor untuk pengukur volume sedimen ini mempunyai tiga bagian, yaitu *input*, proses, dan yang terakhir *output*. *Input* terdiri dari saklar. Kemudian bagian proses ada Arduino Mega 2560, sedangkan outputnya yaitu *motor driver* BTS 7960, dan motor PG45. Setelah merancang alat langkah selanjutnya adalah membuat program arduino setelahnya program arduino yang telah jadi dimasukan ke *hardware* sehingga kapal dapat bergerak. Setelah mengetahui RPM dari motor selanjutnya mengukur RPM dengan arduino yang diman didalam program arduino PWM diubah-ubah dari 5 sampai dengan 255 PWM.

Setelah mendapat data RPM motor selanjutnya membuat pemodelan matematis atau *transfer function* pada matlab dan melakukan validasi *transfer function* sehingga akan mendapatkan model sistematisnya. Selanjutnya membuat aturan logika *fuzzy* untuk mengontrol kecepatan motor dengan model *fuzzy* mamdami menggunakan. Setelahnya membuat diagram sistem di Simulink matlab dan melakukan tuning sehingga dapat menganalisa hasil. Penelitian ini untuk mengontrol kecepatan motor dengan mengsimulasikan menggunakan matlab.

3.2 Rancangan Penelitian

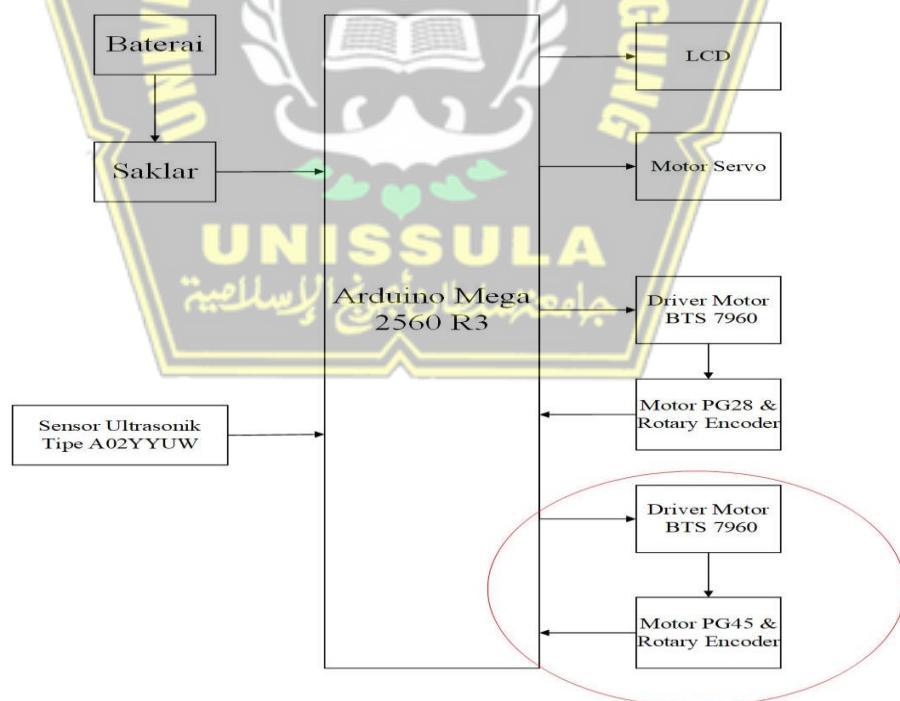
3.3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan Bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

- a. *Rotary encoder* (1 buah)
- b. Arduino mega 2560 R3 (1 buah)
- c. Motor PG45 & *rotary encoder* (1 buah)
- d. *Driver motor* BTS 7960 (1 buah)
- e. *Power Supply* tegangan min 20.5 V dan max 28 V (1 buah)
- f. Saklar (1 buah)
- g. Kabel jumper (Secukupnya)
- h. Baling-baling (1 buah)

3.3.2 Perancangan Hardware

- a. Diagram Alat Pengukur Volume Sedimentasi



Gambar 3. 2 Diagram Alat Pengukur Volume Sedimentasi

Pada gambar 3.2 ditunjukkan blok diagram dari rancangan alat tugas akhir. Perancangan alat ini, terdiri dari tiga bagian yaitu *input*, proses, dan *output*. Pada

bagian *input* terdapat suplai daya yang mensuplai tegangan ke komponen-komponen elektronika yang terpasang pada alat. Pada suplai daya digunakan tiga buah baterai lipo dengan nilai tegangan 12 volt, dimana dalam pemasangannya dua dari tiga buah baterai dipasang secara paralel. Sumber tegangan yang disediakan memiliki dua varian yaitu pada nilai tegangan 12 volt dan 24 volt. Baterai berfungsi sebagai sumber catu daya utama untuk seluruh perangkat. Arus dari baterai mengalir ke saklar digunakan untuk menghidupkan dan mematikan sistem. Ketika saklar ON, daya dialirkkan ke Arduino Mega 2560 R3 dan semua komponen yang terhubung.

Pada bagian input terdapat sensor ultrasonik memiliki fungsi sebagai pendekksi halangan berupa adanya sedimentasi. Terdapat tiga buah yang sensor ultrasonik digunakan dalam pengukuran volume sedimentasi. Sensor ultrasonik ditempatkan pada pipa dengan pemasangan yang sejajar, dimana dua sensor menghadap menyerong ke bawah dan satu sensor menghadap lurus ke bawah. Bagian pipa ini diletakan di bawah kapal dengan dilengkapi tali sebagai media penghubung ketika pipa dinaik turunkan. Selain itu terdapat sensor *rotary encoder* yang terpasang dalam internal motor PG28 dan motor PG45. *Rotary encoder* merupakan sensor pendekksi posisi dan kecepatan dengan memanfaatkan perpindahan mekanik menjadi sinyal-sinyal elektrik dan mengubah sinyal tersebut menjadi sebuah data. Pada penerapanya di alat ini *rotary encoder* mendekripsi perpindahan mekanik dari motor PG28 dan motor PG45. Perpindahan mekanik dari kedua motor tersebut berupa menjadi sinyal-sinyal elektrik dan mengubah sinyal tersebut menjadi sebuah data. Data yang dihasilkan inilah yang dikonversikan menjadi nilai per satuan sentimeter.

Bagian proses berupa mikrokontroler jenis Arduino Mega 2560. semua informasi atau data hasil dari pembacaan sensor akan diproses oleh mikrokontroler. Arduino Mega 2560 R3 bertindak sebagai pusat pemrosesan yang menerima data dari sensor, mengolah sinyal kontrol, dan mengatur motor DC, LCD, motor servo, dan *driver motor*. Tahap proses merupakan tahap terpenting karena dalam tahap ini hasil pembacaan sensor akan diolah sehingga menghasilkan *output* yang sesuai.

LCD menampilkan informasi hasil pengukuran sedimen. Arduino mengirimkan data ke LCD untuk memberikan respon visual kepada pengguna. Terdapat motor Servo yang digunakan sebagai pengontrol pergerakan kapal. Motor servo dikendalikan oleh Arduino. Motor servo digunakan untuk kapal bisa berbelok sehingga kapal tidak hanya bergerak lurus. Pada alat ini menggunakan 2 buah motor DC yaitu motor DC PG28 dan Motor DC PG45. Pada motor DC PG28 digunakan untuk menggerakan sensor naik turun *driver Motor* BTS7960 Arduino mengirim sinyal PWM dan kontrol arah ke driver ini. driver menggerakan motor PG28 sesuai perintah Arduino. Untuk motor DC PG45 untuk menggerakan kapal dan jadi penggerak utama. *Driver Motor* BTS7960 menerima sinyal PWM dan kontrol dari Arduino, dan mengalirkan daya ke motor PG45. *Rotary encoder* memberikan data kecepatan dan posisi sebenarnya ke Arduino.

Perancangan diagram blok ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pembuatan alat. Pada gambar 3.2 yang ditandai bulat merah adalah fokus dari penelitian ini yang berfokus kepada cara kerja motor PG45 untuk menjalankan kapal aar dapat bergerak untuk mendektesi sedimen.

b. Perancangan Diagram Blok



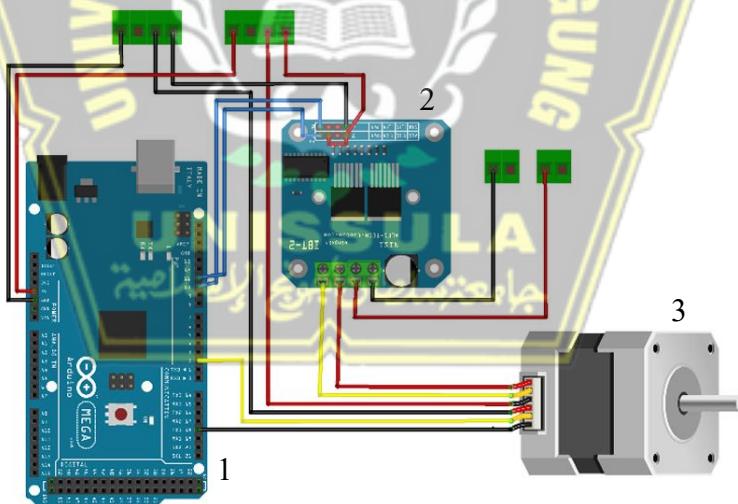
Gambar 3. 3 Diagram Blok Rangkaian

Dalam gambar 3.3 diagram blok dapat dilihat desain alat ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *input*, proses, dan *output*. Pada bagian input terdapat *power supply* sebagai masukan tegangan ke komponen elektronik yang terpasang pada alat tersebut.

Sedangkan pada bagian *input* terdapat sensor *rotary encoder* digunakan. mendeteksi kecepatan putar motor saat berputar dengan mengoptimalkan perpindahan mekanis menjadi sinyal listrik dan mengonversi sinyal tersebut beralih ke data. Dalam penerapannya pada alat ini, *rotary encoder* mendeteksi perpindahan mekanis dari motor PG45.

Dan untuk bagian *output* terdiri dari 2 yaitu *Driver motor BTS7960* dan motor PG45. Setelah mikrokontroler memproses data sensor dan selanjutnya menjalakan perinta untuk untuk menjalankan *output*. *Driver motor BTS7960* digunakan sebagai penguat dikarena tegangan dan arus keluaran mikrokontroler tidak mampu memenuhi kebutuhan tegangan dan arus motor DC. Untuk mengatur putaran motor, digunakan sistem FET PWM (*Pulse Width Modulation*). Pada *Driver motor BTS7960* dihubungkan ke motor PG45 menggunakan pin R_PWM dan pin L_PWM ke Arduino Mega 2560 R3.

c. Perancangan Driver Motor Penggerak



Gambar 3. 4 Wiring Diagram Driver Motor Penggerak

Motor driver yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengontrol arah dari putaran maupun kecepatan motor PG245 (3) adalah *motor driver* BTS7960 (2). Motor driver BTS7960 (2) yang dihubungkan ke motor DC PG45 (3) memakai pin Arduino (1) nomor 11 untuk pin R_PWM dan pin Arduino (1) nomor 10 untuk pin

L_PWM. Sebuah *rotary encoder* sudah terhubung dengan belakang motor, *Rotary encoder* pada motor PG45(3) ini terhubung ke pin Arduino nomor 2 dan 3. Gambar 3.4 menunjukkan diagram pengkabelan motor driver PG45.

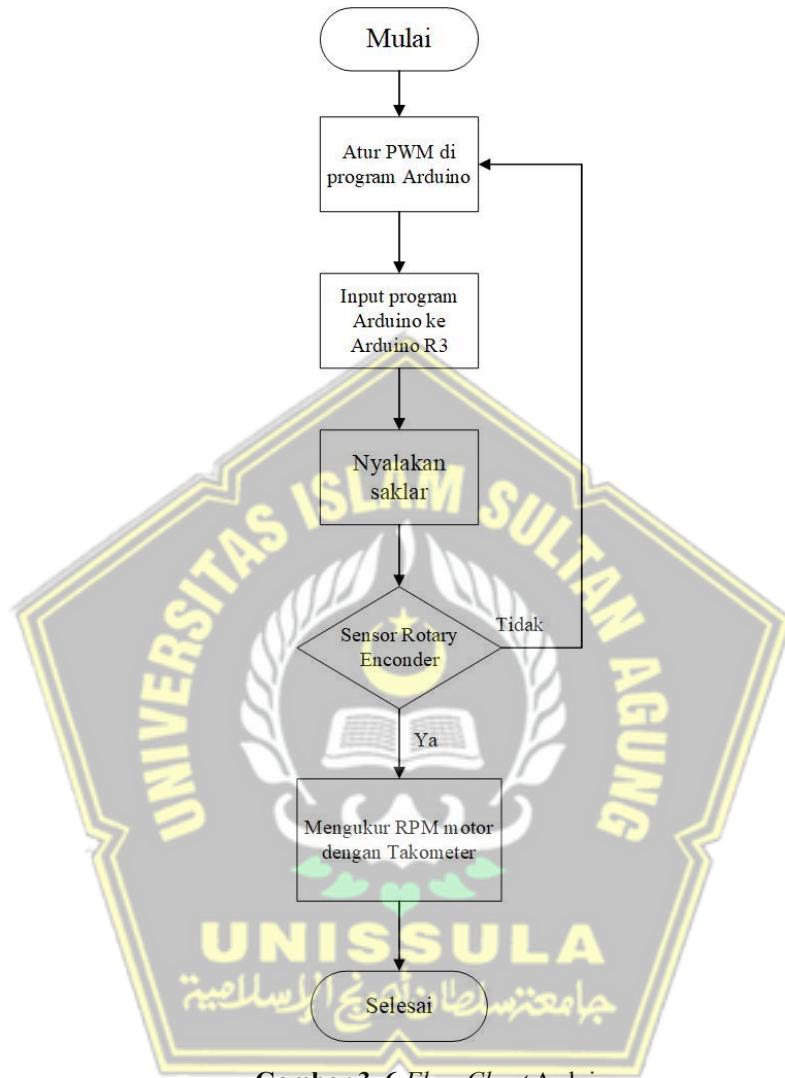
d. Perancang Selongsong Baling-Baling



Gambar 3. 5 Selongsong Baling-Baling

Selongsong digunakan untuk membantu menyambungkan motor dengan baling-baling sehingga baling-baling dapat berputar sesuai dengan putaran motornya dan selang yang berwarna biru membantu menyambungkan antara motor dan baling-baling dengan begitu kapal dapat bergerak untuk mengukur sedimen.

3.3.3 Perancangan Software



Gambar 3. 6 Flow Chart Arduino

Pada program Arduino PWM telah diatur dari 5-255 untuk mendapatkan RPM (*Revolutions Per Minute*) dan tengangan yang berbeda-berda sesuai dengan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang telah diatur. Sensor rotary enconder akan sinyal digital berbentuk pulsa. Sinyal ini kemudian dikirimkan ke unit pengendali. Berdasarkan data pulsa yang diperoleh, pengendali dapat menghitung sudut rotasi poros dan mengolahnya menjadi informasi terkait kecepatan putaran, arah pergerakan, serta posisi rotasi sumbu. Setelah itu dapat menghitung RPMnya

dengan alat ukur Takometer. Berikut penjelasan dari program Arduino yang digunakan :

a. Deklarasi pin dan variable

```
const int motor1 = 11;
const int motor2 = 10;

const int pEchA = 2;
const int pEchB = 3;

volatile long countPulses = 0;
const int timeSampling = 50; //ms
unsigned long lastTime = 0;
```

- motor1 dan motor2 adalah pin untuk mengendalikan motor. Dari implementasi motor() motor1 digunakan untuk PWM (kecepatan) dan motor2 untuk menandakan arah.
- pEchA/pEchB adalah input encoder
- countPulses diberi modifier *volatile* karena diubah di ISR (*interrupt service routine*). volatile memberitahu compiler bahwa nilai ini bisa berubah kapan saja.
- timeSampling = 50 ms periode sampling untuk menghitung frekuensi/RPM.
- lastTime menyimpan waktu millis() terakhir saat sampling dilakukan.

b. Setup()

```
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);

    pinMode(pEchA, INPUT);
    pinMode(pEchB, INPUT);

    pinMode(motor1, OUTPUT);
    pinMode(motor2, OUTPUT);

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pEchA), ISR_Encoder_A, RISING);
}
```

- Serial 9600 untuk print RPM.
- Pin encoder diset INPUT.
- attachInterrupt(...) : menghubungkan interrupt pada pin A (pEchA) dan menjalankan ISR_Encoder_A pada tepi RISING (transisi LOW->HIGH). Dalam ISR, program membaca pEchB untuk menentukan arah

c. loop()

```

void loop() {
    unsigned long currentTime = millis();
    float deltaTime = currentTime - lastTime; //ms
    if (deltaTime >= timeSampling){
        float freqSignal = (float)countPulses/(deltaTime/1.0e3); //Hz; (deltaTime/1.0e3) --> convert ms to s
        countPulses = 0;
        float rpm = freqSignal * 60.0 / 3840; // 3840 = p*N; p=step-up gear (19.2); N=pulses per revolution (200);

        Serial.println(rpm);
        lastTime = currentTime;

        motor(255);
    }
}

```

- deltaTime dihitung dalam ms (float). Jika waktu sejak sampling terakhir \geq 50 ms.
- Menghitung freqSignal = countPulses / duration_in_seconds. Karena deltaTime dalam ms, deltaTime/1.0e3 mengonversi ke detik.
- Mengosongkan countPulses untuk periode sampling berikutnya.
- Menghitung rpm dengan rumus $rpm = freq * 60 / (p*N)$ di mana 3840 adalah produk dari p (gear step-up = 19.2) dan N (pulses per revolution = 200). Jadi rumus lengkapnya: freq (Hz) = pulses_per_second; rotations_per_second = freq / (p*N); rpm = rotations_per_second * 60.
- Menampilkan RPM.
- Memperbarui lastTime.
- Memanggil motor (255) atau memberi perintah menjalankan motor dengan PWM dari 5-255.

d. ISR (*Interrupt Service Routine*)

```

void ISR_Encoder_A(){
    if(digitalRead(pEchB)){
        //clockwise
        countPulses++;
    }else{
        //anti clockwise
        countPulses--;
    }
}

```

- Saat terjadi RISING pada channel A, ISR membaca level channel B

- Jika B=HIGH, anggap arah searah jarum jam (countPulses++).
 - Jika B=LOW, anggap berlawanan arah (countPulses--).
- e. Fungsi motor (int speed)

```
void motor(int speed) {
    if (speed > 0) {
        analogWrite(motor1, speed);
        digitalWrite(motor2, LOW);
    } else if (speed < 0) {
        analogWrite(motor1, 255 + speed);
        digitalWrite(motor2, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(motor1, LOW);
        digitalWrite(motor2, LOW);
    }
}
```

- Tujuan fungsi: mengontrol arah & kecepatan motor menggunakan satu pin PWM (motor1) dan satu pin digital (motor2) sebagai arah.
- Jika speed > 0 PWM = speed, arah = LOW.
- Jika speed < 0 analogWrite (motor1, 255 + speed) dan arah = HIGH.
- Jika speed = 0 kedua pin LOW (motornya off).

3.3 Pengujian Motor DC PG45

Pengujian motor DC PG45 bertujuan mendapatkan data terkait beberapa aspek, yaitu tegangan input yang diberikan ke motor DC (V), kecepatan rotasi aktual motor (RPM), serta kecepatan rotasi yang terpantau melalui serial monitor (RPM) pada arduino. Pengambilan data kecepatan rotasi nyata dan yang terbaca pada serial monitor dimaksudkan sebagai pembanding antara hasil dari alat ukur baku dengan hasil dari pembacaan sistem dan juga upaya validasi akurasi sistem, mengingat adanya perbedaan antara hasil pembacaan sistem dengan nilai yang diperoleh dari alat ukur baku. Sedangkan, pengukuran terhadap tegangan *input* berguna untuk menganalisis kaitan antara variasi tegangan masukan dengan respons kecepatan rotasi motor. Proses pengujian dilakukan dengan mengaplikasikan nilai PWM pada kisaran 5 hingga 255.

Peralatan yang digunakan yaitu:

1. *Driver motor BTS7960.*

2. *Power Supply* tegangan min 20.5 V dan max 28 V
3. Motor DC PG45.
4. Voltmeter digital.
5. Takometer.
6. *Software* Arduino IDE.
7. Kabel USB *type A to type B*.
8. Program arduino.
9. Laptop.

Selanjutnya melakukan langkah-langkah pengambilan data yang terdiri dari:

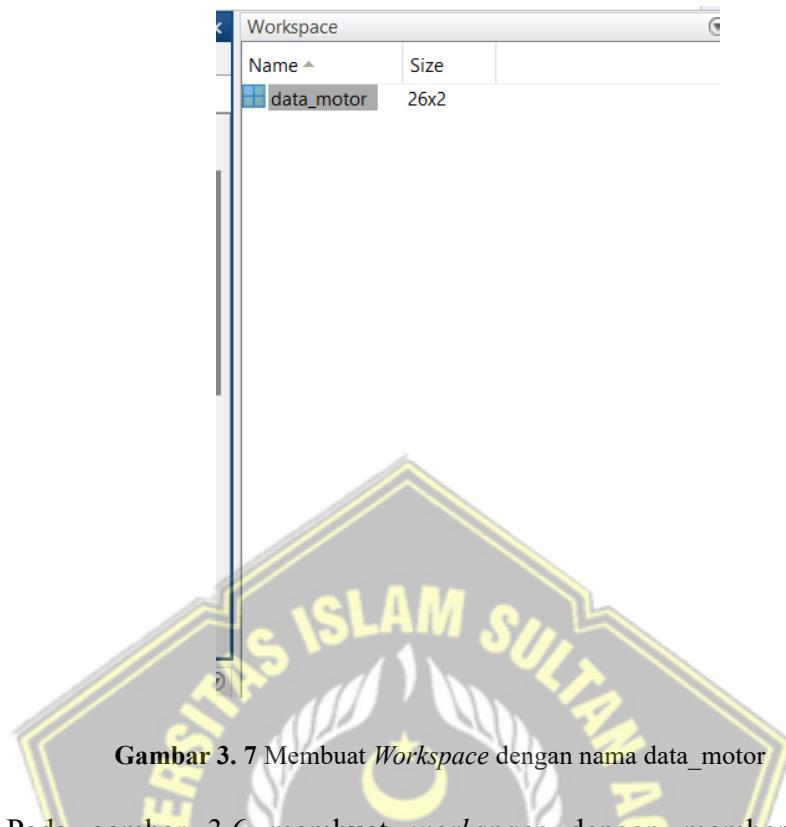
1. Menghubungkan *Driver motor BTS7960* ke sumber tegangan (*Power supply* dengan tegangan 20.3V).
2. Menghubungkan pin digital arduino nomor 11 ke pin R_PWM *Driver motor BTS7960*.
3. Menghubungkan pin digital arduino nomor 10 ke pin L_PWM *Driver motor BTS7960*.
4. Menghubungkan laptop ke arduino dengan kabel USB *type A to type B*
5. Menyeting nilai PWM pada program arduino dengan nilai yang sudah ditetapkan dari 5-255 PWM.
6. Menjalankan program arduino.
7. Mengamati pergerakan motor.
8. Mengukur tegangan *driver motor* BTS760 pada kedua *output* yang masuk ke motor PG45.
9. Mengukur kecepatan putar as baling-baling kapal dengan takometer.
10. Mencatat hasil pengukuran yang tertampil pada alat ukur.
11. Mencatat nilai RPM yang muncul pada *serial monitor*.
12. Mengulangi langkah 5 sampai 11 dengan nilai PWM yang berbeda-beda dengan nilai PWM berkelipatan 10.

3.4 Membuat Model Matematis

Model matematis Motor DC yang digunakan belum terdefinisi. dikarenakan model matematis tersebut digunakan dalam proses penentuan parameter kontroler

fuzzy logic untuk sistem kendali kecepatan, maka dari itu perlu dilakukan identifikasi model matematis motor DC. Model matematis dapat dicari menggunakan *System Identification Tool* pada aplikasi Matlab. *System Identification Tool* pada Matlab adalah sarana untuk Menyusun model matematis, dan didasarkan pada pengumpulan data *input* dan *output* dari sistem. Langkah-langkah dalam menggunakan *System Identification Tool* pada Matlab adalah sebagai berikut:

1. Membuka *software* Matlab.
2. Membuat *workspace* untuk menyimpan data *input* berupa tegangan dan *output* berupa kecepatan putar motor.
3. Memasukan data *input* dan *output* ke dalam *workspace*.
4. Menjalankan perintah *systemIdentification* pada *command window*.
5. Tekan *Import data*, lalu pilih *Time domain data*. Akan muncul sebuah *Dialog box*.
6. Pada isian Input masukan *data_motor(:,1)* (data motor merupakan nama dari file *workspace* yang telah dibuat sebelumnya dan *(:,1)* untuk memilih semua data di kolom nomor 1 pada *workspace*).
7. Pada isian Output masukan *data_motor(:,2)*. Lalu tekan *Import*.
8. Tekan *estimate* lalu pilih *Transfer function model*.
9. Melakukan langkah percobaan yang sama dengan preprosesing data *remove means*.
10. Melakukan validasi data.



Gambar 3. 7 Membuat *Workspace* dengan nama data_motor

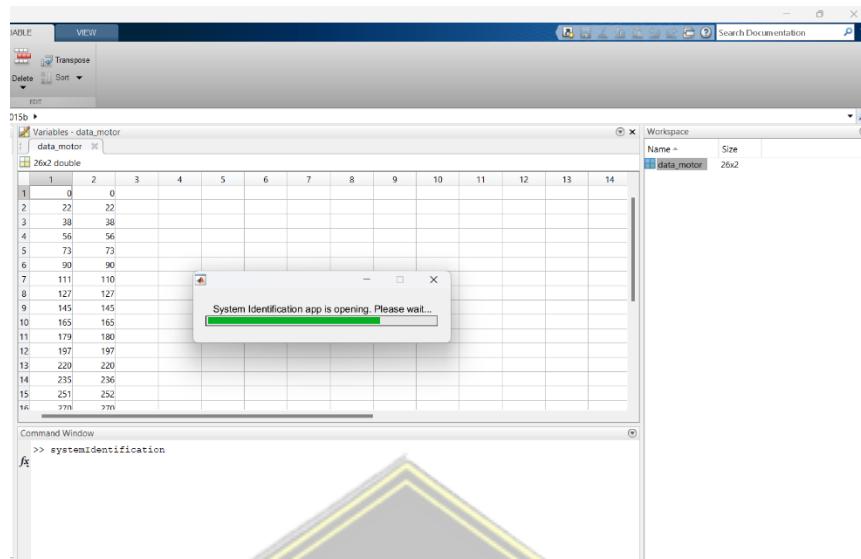
Pada gambar 3.6 membuat *workspace* dengan memberi nama pada *workspace* data_motor sehingga memudahkan untuk mencari *workspace* tersebut.

The screenshot shows the MATLAB variables browser titled 'Variables - data_motor'. It displays the 'data_motor' variable, which is a 26x2 double matrix. The matrix contains the same data as shown in the workspace window above.

	1	2
1	0	0
2	1.1000	22.1900
3	1.9000	38.7500
4	2.7000	56.5600
5	3.5000	73.7500
6	4.3000	90.3100
7	5.1000	100.3100
8	5.8000	127.5000
9	6.6000	145.9400
10	7.5000	165
11	8.2000	180.6300
12	9	197.8100
13	9.8000	220.6300
14	10.7000	236.2500
15	11.5000	252.1900
16	12.2000	270.6300

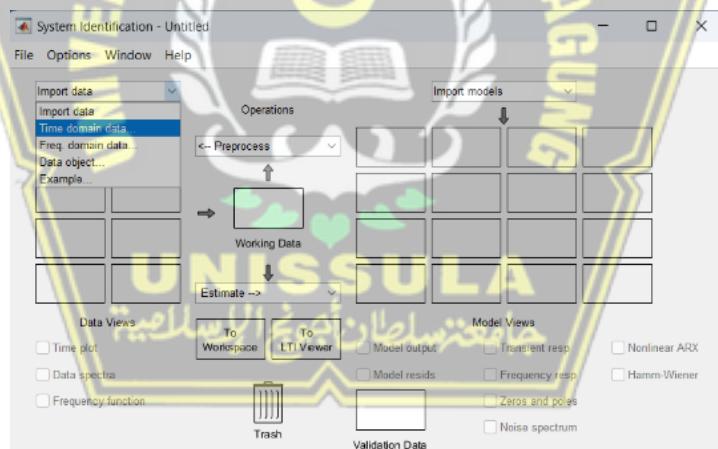
Gambar 3. 8 Memasukan Data *Input* Dan *Output* ke dalam *Workspace*

Pada gambar 3.7 memasukan data *Input* dan output ke dalam *workspace*. Pada kolom 1 menjadi input dan kolom 2 menjadi output. Pada input yang digunakan adalah tegangan dari motor dan untuk outputnya adalah *Revolutions Per Minute* (RPM).



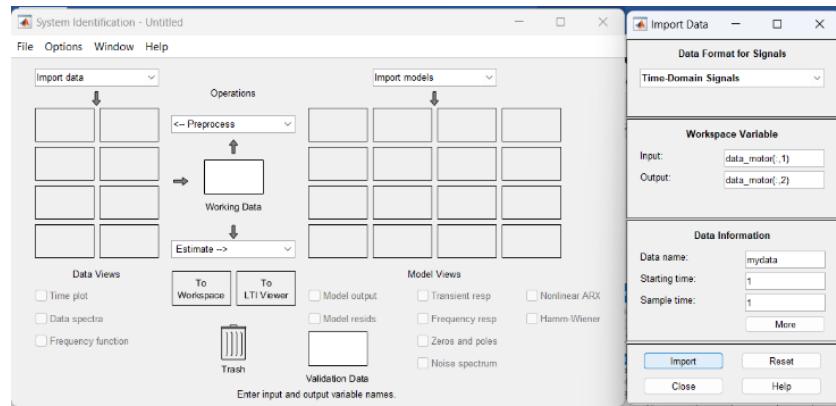
Gambar 3. 9 Menjalankan Perintah SystemIdentification

Pada gambar 3.8 pada Command Window pada Matlab ketik *SystemIdentification*, Matlab akan menjalankan perintah dan membukanya.



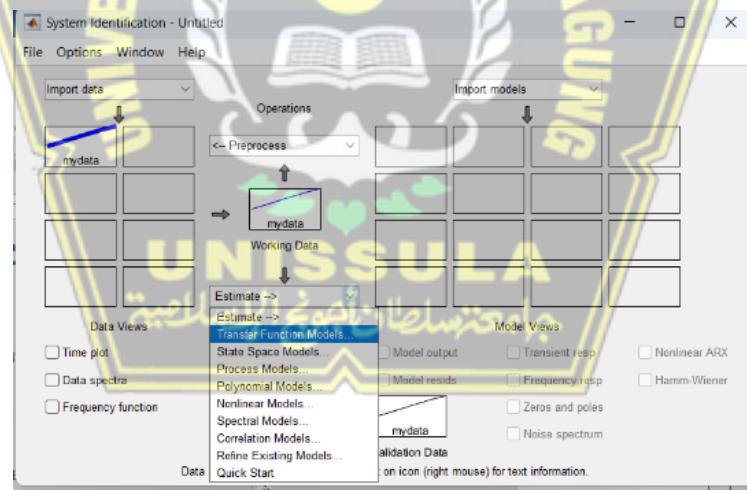
Gambar 3. 10 Memilih Time Domain Data

Pada gambar 3.9 bagian *Import data* pilih *Time Domain Data* untuk dapat menampilkan *dialog box*.



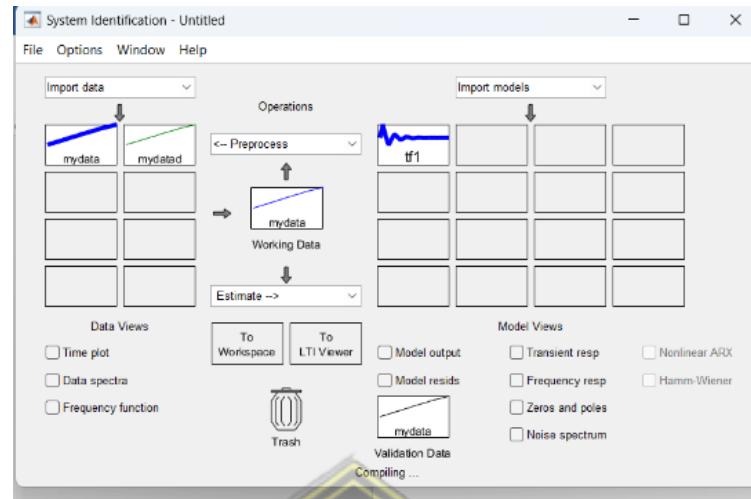
Gambar 3. 11 Import Data Dari Workspace

Pada gambar 3.8 *dialog box* muncul pada bagian input ketik sesuai judul pada *workspace* dan angka 1 untuk menunjukan input merupakan data pada kolom 1 pada *workspace* (*data_motor (:,1)*). Untuk output sama dengan input yang membedakan angka yang dituliskan 2 menunjukan data kolom 2 pada *workspace* (*data_motor (:,2)*) dan tekan *Import* untuk mendapatkan hasilnya.



Gambar 3. 12 Memilih Transfer Function Model

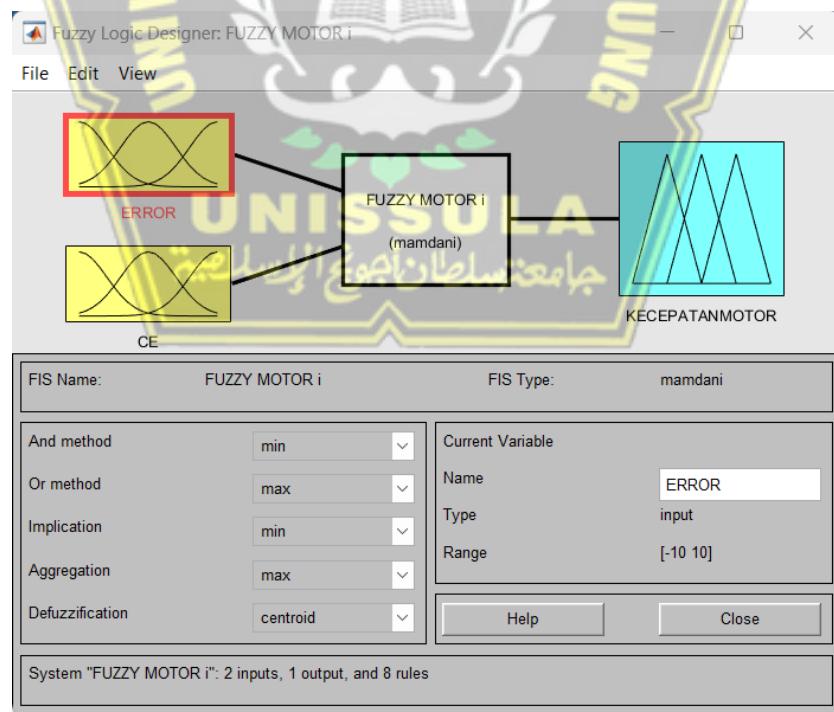
Pada gambar 3.11 pada bagian *Estimate* pilih *Transfer function Model* untuk mengetahu model *Transfer function* yang didapat dengan data yang kita masukan.



Gambar 3. 13 Tampilan Saat Model Telah Jadi

Pada gambar 3.12 merupakan tampilan model *Transfer function* untuk melihat hasilnya dapat menekan tf1 akan terlihat model *Transfer function* dan untuk melihat gambar grafiknya pada model views pilih model output akan muncul grafiknya.

3.5 Sistem Kontrol Fuzzy logic



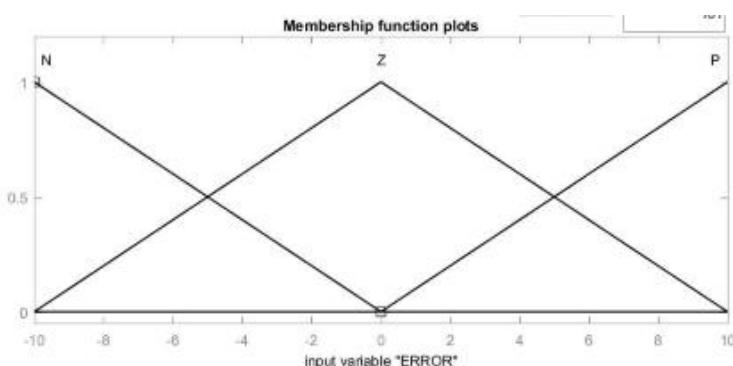
Gambar 3. 14 Variabel Input dan Variabel Output Sistem Fuzzy

Dalam penelitian ini menggunakan 2 *input* yaitu *Error* dan *Changes of error* (*CE*) dan untuk output yang digunakan adalah kecepatan motor. Dalam penelitian ini fuzzy yang digunakan adalah fuzzy mamdani.

Tabel 3. 1 Rule Base Fuzzy Logic

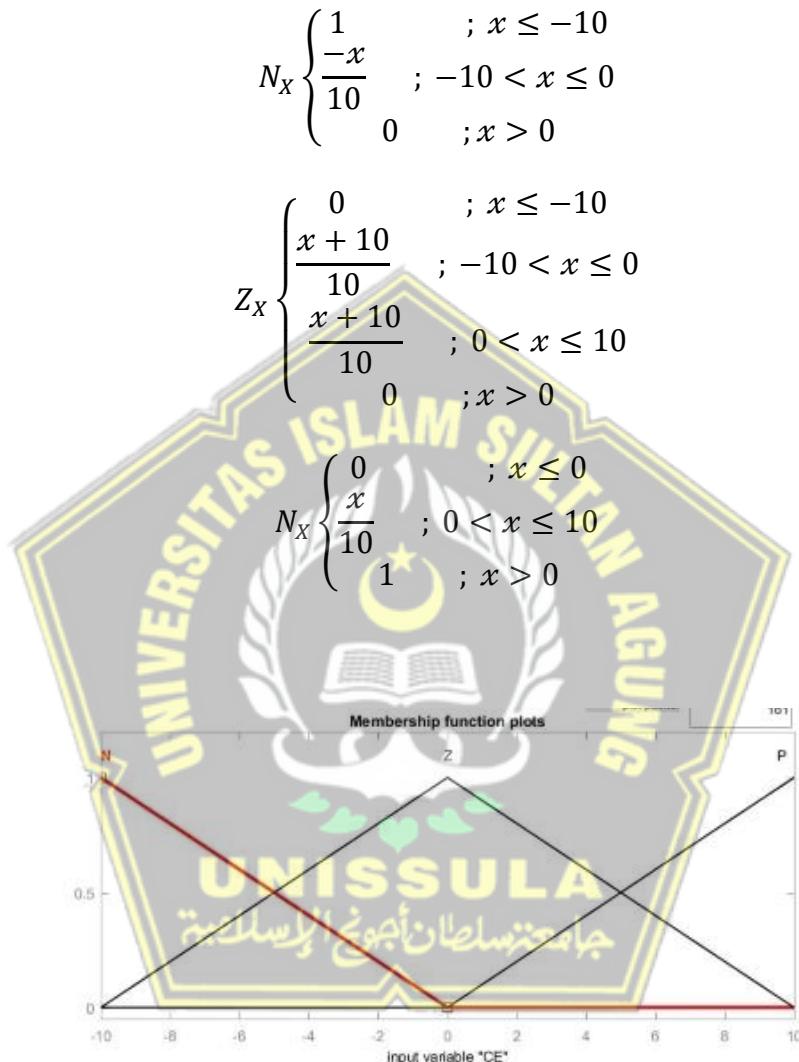
No	Aturan
1	JIKA E adalah negatif DAN CE adalah negatif Maka Lambat
2	JIKA E adalah negatif DAN CE adalah nol Maka Lambat
3	JIKA E adalah negatif DAN CE adalah positif Maka Konstan
4	JIKA E adalah nol DAN CE adalah positif Maka Cepat
5	JIKA E adalah nol DAN CE adalah negatif Maka Konstan
6	JIKA E adalah positif DAN CE adalah positif Maka Lambat
7	JIKA E adalah positif DAN CE adalah nol Maka Cepat
8	JIKA E adalah positif DAN CE adalah negatif Maka Konstan

Pada penelitian ini *rule base* yang digunakan ada 8 yang dimana menggunakan 2 input yang digunakan yaitu input 1 *error* (E) dengan nilai linguistiknya yaitu negatif (N), zero (Z), positif (P) dan input 2 yaitu *change of error* (CE) dengan nilai linguistiknya negatif (N), zero (Z), positif (P). Outputnya yaitu kecepatan motor dengan nilai linguistik Lambat (L), konstan (K), Cepat (C). Menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dikarena bentuk yang paling sederhana, proses komputasinya lebih cepat, dan hasilnya baik. Berikut kondisi terbaik fungsi keanggotaan sebagai berikut :



Gambar 3. 15 Fungsi Keanggotaan *Input Error* (E)

Pada gambar 3.14 merupakan *Fungsi Keanggotaan Input Error (E)* yang terdiri dari Negatif (N), Zero (Z), Positif (P). Persamaan *Input Error (E)* sebagai berikut:



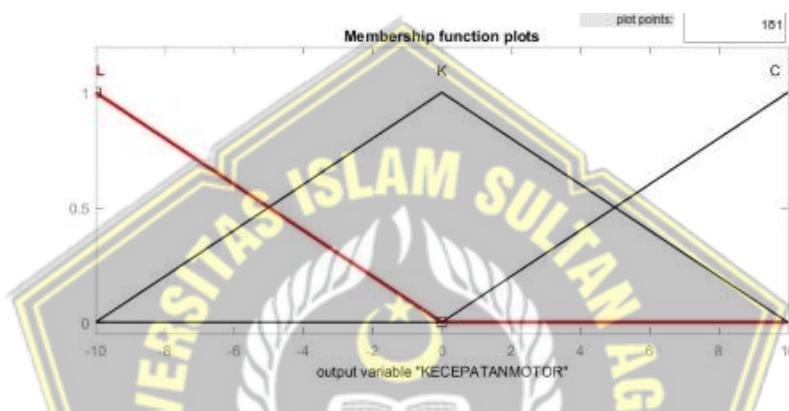
Gambar 3. 16 Fungsi Keanggotaan *Input Change of Error (CE)*

Pada gambar 3.15 merupakan *Fungsi Keanggotaan Input Change of Error (CE)* yang terdiri dari Negatif (N), Zero (Z), Positif (P). Persamaan *Input Change of Error (CE)* sebagai berikut:

$$N_x \begin{cases} \frac{1}{10} & ; x \leq -10 \\ \frac{-x}{10} & ; -10 < x \leq 0 \\ 0 & ; x > 0 \end{cases}$$

$$Z_x \begin{cases} 0 & ; x \leq -10 \\ \frac{x+10}{10} & ; -10 < x \leq 0 \\ \frac{x+10}{10} & ; 0 < x \leq 10 \\ 0 & ; x > 10 \end{cases}$$

$$N_x \begin{cases} 0 & ; x \leq 0 \\ \frac{x}{10} & ; 0 < x \leq 10 \\ 1 & ; x > 10 \end{cases}$$



Gambar 3.17 Fungsi Keanggotaan Output Kecepatan Motor

Pada gambar 3.16 merupakan *Fungsi Keanggotaan Input Change of Error (CE)* yang terdiri dari Lambat (L), Konstan (K), Cepat (C). Persamaan *Output Kecepatan Motor* sebagai berikut:

$$L_x \begin{cases} 1 & ; x \leq -10 \\ \frac{-x}{10} & ; -10 < x \leq 0 \\ 0 & ; x > 0 \end{cases}$$

$$K_x \begin{cases} 0 & ; x \leq -10 \\ \frac{x+10}{10} & ; -10 < x \leq 0 \\ \frac{x+10}{10} & ; 0 < x \leq 10 \\ 0 & ; x > 10 \end{cases}$$

$$C_x \begin{cases} 0 & ; x \leq 0 \\ \frac{x}{10} & ; 0 < x \leq 10 \\ 1 & ; x > 10 \end{cases}$$

3.6 Membuat Diagram Blok Pada Simulink

Diagram blok dibuat untuk dapat melihat respon motor dengan menggunakan algoritma *fuzzy logic*. Berikut adalah langkah-langkah melihat respon motor dengan metode *fuzzy logic*:

1. Membuat diagram blok sistem di Simulink Matlab
2. Memasukkan nilai *transfer function* yang telah didapatkan ke dalam blok *transfer function*.
3. Masukan nilai *Rule base* lalu *Run*.
4. Menekan ikon *scope* untuk melihat respon sistem.
5. Mengamati hasil respon sistem.



Gambar 3. 18 Rangkain Motor DC Dengan Sistem *Fuzzy Logic*

Pada gambar 3.17 pada input terdapat *set point*, tegangan, *gain* sebagai penguat. Terdapat *fuzzy logic controller* sebagai algoritma yang digunakan. *Transfer function* yang didapat pada pemodelan *transfer function* dan terakhir scope untuk mengetahui respon gelombangnya.

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Pengujian Motor DC PG45 Dengan Mengatur PWM Pada Arduino

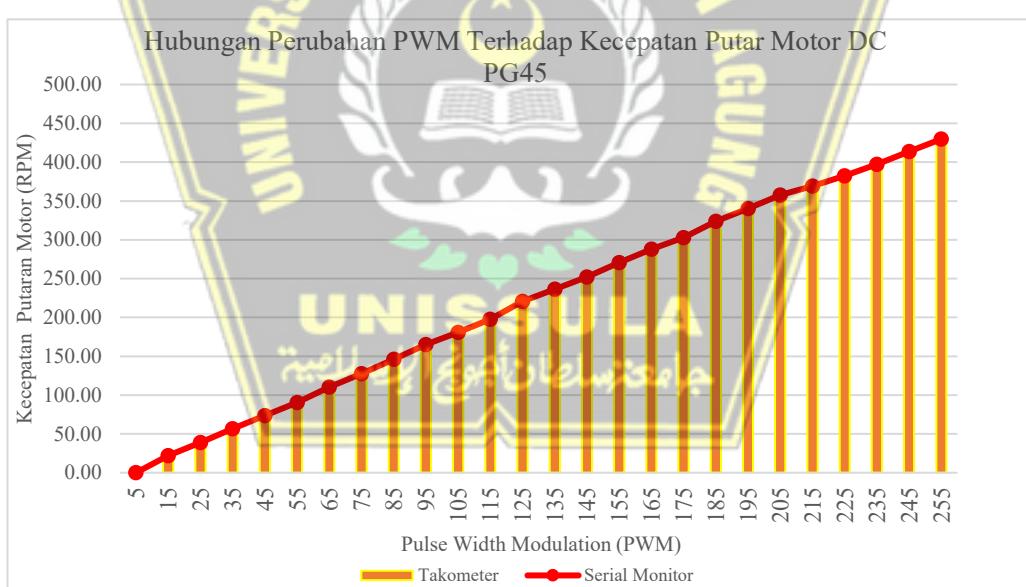
Sesuai dengan rangkaian prosedur pengujian yang telah dilakukan, untuk data kecepatan motor DC PG45 dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pada pengujian ini untuk mengukur (*Revolutions Per Minute (RPM)*) menggunakan alat ukur baku yaitu takometer dan serial monitor pada arduino.

Tabel 4. 1 Hasil Dari Pengujian Motor DC PG45 Dengan Mengatur PWM Pada Arduino

PWM	Tegangan masukan (V)	Kecepatan putar dari takometer (RPM)	Kecepatan putar dari serial monitor (RPM)	Error Relatif %
5	0.0	0.00	0.00	0.00
15	1.1	22.10	22.19	0.41
25	1.9	38.10	38.75	1.68
35	2.7	56.60	56.56	0.07
45	3.5	73.30	73.75	0.61
55	4.3	90.00	90.31	0.34
65	5.1	111.30	110.31	0.90
75	5.8	127.40	127.50	0.08
85	6.6	145.00	145.94	0.64
95	7.0	165.60	165.00	0.36
105	8.2	179.90	180.63	0.40
115	9.0	197.20	197.81	0.31
125	9.8	220.30	220.63	0.15
135	10.7	235.50	236.25	0.32
145	11.5	251.20	252.19	0.39
155	12.2	270.20	270.63	0.16
165	13.0	287.30	287.81	0.18
175	13.8	302.50	302.81	0.10
185	14.6	323.50	323.75	0.08
195	15.4	339.70	340.31	0.18
205	16.2	357.10	357.50	0.11

215	17.0	369.20	369.28	0.02
225	17.8	382.20	382.19	0.00
235	18.6	397.70	397.19	0.13
245	19.4	412.70	413.90	0.29
255	20.1	430.70	429.75	0.22
Rata-Rata Nilai Error Relatif %				0.18

Pengujian motor DC PG 45 untuk dapat mengetahui karakteristik motor DC PG45 yang digunakan dalam penelitian ini. Respons kecepatan (*Revolutions Per Minute (RPM)*) terhadap variasi *Pulse Width Modulation (PWM)* yang diberikan. Proses pengujian ini bertujuan agar dapat mengidentifikasi hubungan antara perubahan *Pulse Width Modulation (PWM)* dengan kecepatan rotasi motor DC. Dan juga mengitung *error* relatif dari hasil pengukuran RPM menggunakan alat ukur takometer ataupun serial monitor dengan PWM yang berbeda-beda sehingga dapat diketahui rata-rata error relatif kedua pengukuran tersebut.



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Perubahan PWM Terhadap Kecepatan Putar Motor DC PG45

Berdasarkan data pengujian tabel 4.1, terdapat hubungan *linear* antara nilai PWM dan kecepatan putar motor RPM). Ketika PWM nilainya diubah semakin besar, maka nilai dari RPM juga meningkat, dapat dilihat pada tabel 4.1 dan juga

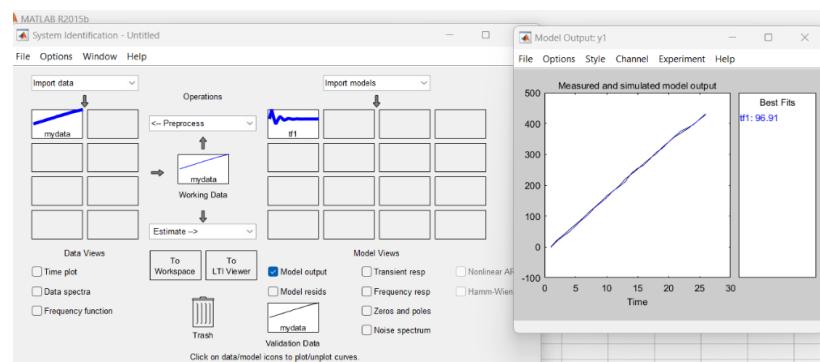
pada gambar 4.1 perubahan pada PWM terhadap kecepatan putar menunjukkan hasil bahwa kontrol PWM efektif dalam mengatur kecepatan motor.

Pada kecepatan motor, perbandingan antara kecepatan putar yang diukur dengan menggunakan alat ukur takometer dan yang diukur melalui serial monitor pada arduino menunjukkan bahwa kedua metode pengukuran memberikan hasil yang hamper sama . *error* relatif rata-rata sebesar 0.18 % dengan hasil rata-rata *Error relative* dibawah 1% menunjukkan bahwa sistem pengukuran menggunakan alat ukur takometer dan menggunakan arduino cukup akurat. *error* relatif bervariasi dari 0.41 % hingga 1.68%. Terdapat Nilai *error relatif* yang lebih tinggi dibandingkan nilai error relativ yang lain terdapat pada titik dangan nilai PWM 25 nilai error relativ ini dapat terjadi dengan berbagai faktor eksternal ataupun dalam pengukuran menggunakan alat ukur takometer tidak stabil dalam menggunakan sehingga *error* relativ tinggi. Dengan Sebagian besar *error* relativ berada di bawah 1%, menunjukkan konsistensi yang baik dalam pengukuran.

Sistem pengukuran menunjukkan hasil konsistensi pada seluruh rentang pengujian, dengan rata-rata *error* relatif yang rendah dibawah 1%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berbasis arduino dapat diandalkan untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran RPM yang akurat.

4.1.2 Pengujian Model matematis

Setelah membuat pemodelan matematis sesuai dengan langkah-langkah yang terdapat pada bagian sub bab 3.4 didapatkan model *transfer function* seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Validasi data model dengan data awal

Pada bagian pengujian model matematis ini bertujuan untuk mengetahui *transfer function* dari sistem pada motor DC PG45. Kotak yang bernama mydata adalah data *input* dan *output* dari sistem dan kotak yang bernama tf1 yang adalah hasil model matematis yang telah didapat. Garis biru adalah *transfer function* pertama, garis hijau adalah *transfer function* kedua, sedangkan garis hitam adalah data awal. Dari jendela model *output* yang memiliki nilai *best fits* tertinggi adalah model pertama yaitu sebesar 83.27 %. Maka dari itu akan digunakan model *transfer function* dari tf1.

$$G_{(s)} = \frac{6815}{s^2 + 636.5s + 272.2}$$

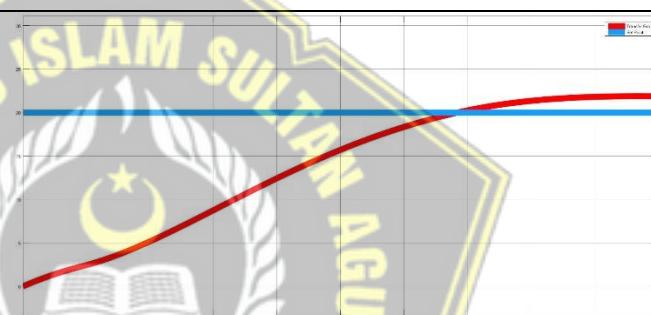
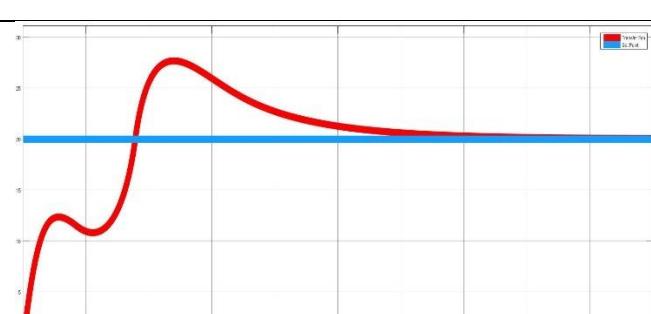
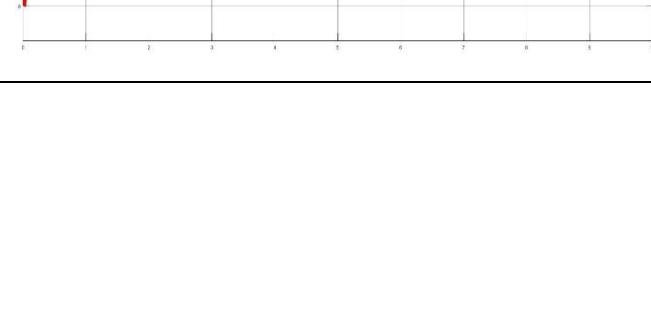


Gambar 4. 3 Hasil Model Matematis Yang Telah Dibuat

4.1.3 Pengujian Respon Fuzzy Logic Pada Simulink

Hasil pengujian respon fuzzy logic pada simulink sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Respon Fuzzy Logic Pada Simulink

Percobaan	<i>Rise Time</i>	
1	: 6.999 s	
	<i>Settling Time</i> : -	
	<i>Overshoot</i> : -	
Percobaan	<i>Rise Time</i>	
2	: 5.708 s	
	<i>Settling Time</i> : -	
	<i>Overshoot</i> : -	
Percobaan	<i>Rise Time</i>	
3	: 4.181 s	
	<i>Settling Time</i> : -	
	<i>Overshoot</i> : -	
Percobaan	<i>Rise Time</i>	
4	: 376.310 ms	
	<i>Settling Time</i> : -	
	<i>Overshoot</i> : 83.33 %	

Pada pengujian respon *fuzzy logic* menggunakan simulink hasil dapat dilihat pada tabel 4.2. Parameter yang digunakan dapat pengujian ini yaitu *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *fuzzy logic*. *Rise time* adalah durasi yang dibutuhkan sistem untuk dapat mencapai *set point* yang telah ditentukan, untuk *settling time* adalah waktu yang diperlukan sistem agar mencapai kondisi stabilnya, sedangkan *overshoot* dimana sistem melebihi set point yang ditentukan. *Fuzzy logic* sangat memengaruhi hasil dari *rise time*, *settling time*, dan *overshoot*.

Pada percobaan 1 hasil yang di dapatkan belum sesuai dikarenakan hasil belum mencapai *set point* yang ditentukan dan dapat di lihat tabel 4.2 bagian percobaan 1 *rise time* yang di dapat 6.99 tidak mengalami *overshoot* dikarena masih jauh dengan set point sehingga pada percobaan 1 tidak mengalami *overshoot*.

Pada percobaan 2 hasil yang didapat juga belum juga sesuai hasil yang didapat ada yang lebih *set point* dan stabil di atas *set point* hal inilah yang membuat sistem belum sesuai dengan yang diharapkan yang Dimana hasil yang di dapat stabilnya di atas *set point* yang ditentukan dan *rise time* yang didapat adalah 5.708 s.

Pada percobaan 3 hasil yang didapat juga belum sesuai dikarenakan gelombang sangat jauh dari *set point* yang diinginkan dimana gelombang lebih mendekati nol dibandingkan mendekati *set point* yang ditentukan. Hasil ini menunjukkan percobaan 3 belum sesuai dengan yang diinginkan dan *rise time* pada percobaan 3 adalah 4.181 s.

Pada percobaan 4 hasil sesuai dengan yang diinginkan yang dimana hasil sesuai dimanana pada detik 6 hasil yang didapat stabil di *setpoint* dengan ini hasil percobaan 4 sesuai dan terbaik dari 3 percobaan sebelumnya. Akan tetapi pada percobaan ini terdapat *overshoot* 83.33 % dan stabil pada detik 6 dan rise time 376.310 ms sehingga percobaan ini terbaik dari percobaan yang lain.

Dengan ini hasil pada percobaan 4 yang sesuai dengan yang diinginkan yang dimana stabil di detik ke 6 dan seterusnya walapun tetap terjadi *overshoot* sebelum

detik ke 6 dan yang membedakan hasil dari gelombang yaitu *rule basenya* dan didapatkan *rule base* yang terbaik ada pada percobaan 4.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini :

1. Hasil terbaik pengujian respon *fuzzy logic* pada simulink adalah dengan *rise time* 376.310 ms dan *overshoot* 83.33%.
2. Hasil dari pengujian respon *fuzzy logic* diharapkan dapat digunakan untuk mengontrol gerak kapal untuk mengukur sedimen.
3. Penentuan *rule base fuzzy* sangat memengaruhi hasil untuk mencapai *setpoint* yang ditentukan.
4. Hasil dari pengukuran putaran motor dengan alat takometer dan arduino menghasilkan sama dengan rata-rata *error* relatif 0.18%.

5.2 Saran

Saran yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Dapat mencoba *fuzzy logic* secara langsung tanpa simulasi untuk mengatur kecepatan motor untuk mengukur volume sedimen.
2. Dalam melakukan pengukuran dengan alat takometer dapat mengukur dengan stabil dan berulang sehingga didapatkan hasil yang maksimal.
3. Mengetahui spesifikasi komponen yang digunakan dengan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Febrian, R. Sari, and S. Desman, “Analisis Karakteristik Sedimen dan Debit Sedimen di Sungai Batang Agam Kota Payakumbuh,” *Technologica*, vol. 2, no. 1, pp. 38–48, 2023, doi: 10.55043/technologica.v2i1.65.
- [2] S. A. D. Prasetyowati, B. Arifin, J. Ardalli, M. Ismail, I. M. I. Subroto, and M. H. Purnomo, “Hybrid FLC-LMS Algorithm for Predicting Sediment Volume in the River,” *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 395–409, 2021, doi: 10.22266/ijies2021.0430.36.
- [3] M. K. Faza, S. Arttini, D. Prasetyowati, and B. Arifin, “Rancang Bangun Kapal Pengukur Volume Sedimen dengan Algoritma PID,” vol. 5, no. 2, pp. 111–125, 2023.
- [4] J. ARDALLI, “Prototipe Alat Pengukur Volume Sedimen Di Dasar Sungai Berbasis Arduino Mega 2560,” *Unissula Institutional Repository*, pp. 14–38, 2019, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/16243/>
- [5] A. I. Soehartono and B. Suprianto, “Sistem Kontrol Mini Lift Barang Menggunakan Fuzzy Logic Controller Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Dc Berbasis Labview,” *J. Tek. Elektro*, vol. 09, pp. 203–211, 2020.
- [6] L. A. Hisyam Muhammad Fuad AL Azka,Muhamad Syariffuddien Zuhrie, I Gusti Putu Asto Budijahjanto, “Rancang Bangun Sistem Positioning Mobile Robot Omnidirectional Wheel Menggunakan STM32 Berbasis Fuzzy Logic Controller,” *J. Tek. Elektro*, vol. 10, pp. 547–555, 2021.
- [7] A. Jayadi, J. Persada Sembiring, and R. Kurniawan, “Rancang Bangun Pengendalian Antena Tracker Pada Horizontal Axis Menggunakan Kendali PID,” *J. ICTEE*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10.
- [8] R. D. Mandasari, “Inovasi Parkir Cerdas : Prediksi Posisi Kendaraan dengan Teknologi RFID dan Arduino Mega 2560 R3,” vol. 9, no. 1, pp. 468–473, 2024.
- [9] D. Sasmoko, *Arduino dan Sensor pada Project Arduino DIY*. 2021.
- [10] T. Prilian, I. Rusmana, and T. Handayani, “Kursi Roda Elektrik dengan Kendali Gestur Kepala,” *Avitec*, vol. 3, no. 1, pp. 29–41, 2021, doi: 10.28989/avitec.v3i1.830.
- [11] N. Soedjarwanto, “PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN BUCK-BOOST CONVERTER BERBASIS IoT,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3s1, pp. 943–950, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3399.
- [12] F. S. Bumi, T. Winarno, and A. Komarudin, “Pengaturan Ketepatan Pelontar Anak pada Mobile Robot,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 1, p. 9, 2022, doi: 10.33795/elk.v9i1.425.
- [13] R. Ramdan, L. Lasmadi, and P. Setiawan, “Sistem Pengendali On-Off

Lampu dan Motor Servo sebagai Penggerak Gerendel Pintu Berbasis Internet Of Things (IoT)," *Avitec*, vol. 4, no. 2, p. 211, 2022, doi: 10.28989/avitec.v4i2.1317.

- [14] C. R. Harahap, "Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan Nine Switch Inverter Menggunakan Metode PWM," *Electrician*, vol. 16, no. 3, pp. 338–345, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n3.2388.
- [15] esrawati siregar, "Aplikasi Pembangkit Pwm untuk Mengendalikan Kipas pada Desktop Komputer Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535 K," *Saintia Fis.*, vol. 5, no. 1, pp. 4117–4124, 2013.
- [16] Angger Setyo Kusumo, "Sistem Kontrol Intensitas Cahaya Lampu Aquascape Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis Arduino," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 322–331, 2022.
- [17] A. Indra Rizkianto, B. Suprianto, P. Wanarti Rusimamto, and Endryansyah, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Tracking Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic Controller Berbasis ESP32," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 126–135, 2022.
- [18] D. A. R. Wati, *SISTEM KENDALI CERDAS*.
- [19] M. Fatwa, R. Rizki, P. Sriwinarty, and E. Supriyadi, "Pengaplikasian Matlab pada Perhitungan Matriks," *Papanda J. Math. Sci. Res.*, vol. 1, no. 2, pp. 81–93, 2022, doi: 10.56916/pjmsr.v1i2.260.

