



**TUGAS AKHIR(AE43250)**

**Sistem Kontrol dan Monitoring Air pada Sistem Krofta dengan  
Metode *Fuzzy* di PT. X**

Yury Novian Ramadani  
NRP. 0923140116

Dosen Pembimbing  
Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T.  
li Munadhif, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI  
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL  
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
SURABAYA  
2025





**PPNS** POLITEKNIK  
PERKAPALAN  
NEGERI SURABAYA

**TUGAS AKHIR (AE43250)**

**Sistem Kontrol dan Monitoring Air pada Sistem Krofta dengan  
Metode *Fuzzy* di PT. X**

**Yury Novian Ramadani  
NRP. 0923140116**

**Dosen Pembimbing  
Ryan Yudha Aditya, S.ST., M.T.  
Ii Munadhif, S.ST., M.T.**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI  
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL  
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
SURABAYA  
2025**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

Sistem Kontrol dan Monitoring Air Pada Sistem Krofta  
dengan Metode *Fuzzy* di PT. X

Disusun Oleh:

Yury Novian Ramadani  
0923140116

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan  
Program Studi D4 Teknik Otomasi  
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal  
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 21 Januari 2025  
Periode Wisuda : September 2025

Menyetujui,

#### Dosen Penguji

1. Isa Rachman, S.T., M.T.

NIDN

(0016088003)

Tanda Tangan

(.....)

2. Dr. Mat Syai'in, ST., MT. Ph. D

(0014117707)

(.....)

3. Dr. Eng Imam Sutrisno, ST., MT

(0016017502)

(.....)

4. Ryan Yudha Aditya, S.ST., M.T.

(0016069101)

(.....)

#### Dosen Pembimbing

1. Ryan Yudha Aditya, S.ST., M.T.

NIDN

(0016069101)

Tanda Tangan

(.....)

2. Ii Munadhif, S.ST., M.T.

(0010079102)

(.....)

Menyetujui  
Ketua Jurusan,

Mengetahui

Koordinator Program Studi,



Agus Khumaidi, S.ST., M.T.  
NIP. 199308172020121004





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



	<b><u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u></b>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	--	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Yury Novian Ramadani

NRP. : 0923140116

Jurusan/Prodi : Teknik Kelistrikan Kapal/D4 Teknik Otomasi

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Sistem Kontrol dan Monitoring Air ada Sistem Krofta dengan Metode Fuzzy di PT. X

Adalah **benar karya saya sendiri** dan **bukan plagiat dari karya orang lain.**

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 14 Januari 2025

Yang membuat pernyataan,

  
  
 (Yury Novian Ramadani)  
 NRP. 0923140116



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “*Sistem Kontrol dan Monitoring Air pada Sistem Krofta dengan Metode Fuzzy di PT. X*” dengan tepat waktu. Sholawat serta salam tidak lupa tercurahkan kepada junjungan kita semua Nabi Muhammad SAW yang senantiasa membimbing kita dari jalan yang gelap menuju jalan yang terang benderang.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan kuliah pada Program Studi D-IV Teknik Otomasi dan memperoleh gelar sarjana. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan, semangat serta bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya, khususnya kepada:

1. Orang tua tercinta yaitu Bapak Mahfud Yudiono dan Ibu Sriyati yang tiada hentinya mendoakan, memberikan nasihat, mendukung dan membantu segala usaha saya termasuk secara materi, serta memberikan semangat dan motivasi kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
2. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS.
4. Bapak Agus Khumaidi, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Otomasi PPNS.
5. Bapak Ryan Yudha Aditya, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, dukungan, dan kepercayaan yang Bapak berikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ii Munadhif, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah sabar membimbing, memberikan dukungan, memberikan solusi sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal PPNS yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama penulis melaksanakan studi.

8. Sahabat penulis yaitu Dainty Putri Madani, yang selalu menyemangati, memberikan dukungan penulis untuk tetap kuat dan berjuang.
9. Seluruh keluarga besar program RPL DIV Teknik Otomasi angkatan 2023 yang selama ini belajar dan berjuang bersama.
10. Seluruh Rekan Kerja Penulis yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama masa perkuliahan ini.
11. Semua pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis. Terima kasih banyak atas semua bantuan dan semangat yang diberikan bagi penulis.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya. Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari kata sempurna, kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penyusunan Tugas Akhir ini sangat diperlukan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Penulis,

(Yury Novian Ramadani)



# Sistem Kontrol dan Monitoring Air pada Sistem Krofta dengan Metode *Fuzzy* di PT. X

Yury Novian Ramadani

## ABSTRAK

Krofta merupakan teknologi pemurnian air yang banyak digunakan industri khususnya industri pembuatan kertas dan *tissue*. Dalam penelitian ini, metode kontrol berbasis logika *Fuzzy* diterapkan pada parameter *input* dan *output* Sistem yang dikembangkan menggunakan sistem *Fuzzy Sugeno* dengan tiga *input* utama: TSS, pH, dan suhu dan parameter *output* berupa PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk menghasilkan tindakan kontrol pompa *booster chemical* untuk menjaga kualitas air. Proses pemurnian air dengan menggunakan injeksi *chemical agent* berupa larutan fennopol yang dipompa oleh *Booster pump*. Pompa ini diatur oleh driver *AC Dimmer module* berdasarkan output PWM dari metode *Fuzzy*. Dalam proses ini data dari setiap parameter akan tercatat secara *real time* menggunakan database MySQL dan ditampilkan menggunakan *web interface* yang keduanya saling terkoneksi. Berdasarkan hasil penelitian, hasil akurasi deteksi dari sensor suhu dengan rata-rata *error* 2,736 %, sensor pH dengan rata-rata *error* 1,742 %, dan rata-rata *error* untuk sensor TSS sebesar 4,10 %. Untuk Parameter PWM didapatkan ketepatan nilai PWM yang sangat akurat dan dapat mengubah parameter air yang diuji menjadi optimal. Dapat disimpulkan bahwa metode *Fuzzy Sugeno* ini memiliki rata-rata nilai akurasi sebesar 97,1 % dalam memonitor serta mengontrol sistem untuk membuat keputusan.

**Kata kunci:** Sistem Krofta, Total Suspended Solid (TSS), pH, Suhu Air, Logika *Fuzzy*,

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# ***Water Control and Monitoring System at Krofta System with Fuzzy Method at PT. X***

**Yury Novian Ramadani**

## ***ABSTRACT***

*Krofta is a water purification technology widely used in industries, particularly in paper and tissue manufacturing. In this study, a Fuzzy logic-based control method is applied to the input and output parameters of the system. The developed system utilizes a Sugeno Fuzzy system with three main inputs: TSS (Total Suspended Solids), pH, and temperature, and an output parameter in the form of PWM (Pulse Width Modulation) to control the booster pump for injecting chemicals to maintain water quality. The water purification process involves the injection of a chemical agent, specifically a fennopol solution, which is pumped by a booster pump. The booster pump is controlled by an AC Dimmer module driver based on the PWM output generated by the Fuzzy method. During this process, data from each parameter is recorded in real-time using a MySQL database and displayed via a web interface, with both components interconnected. Based on the research findings, the accuracy results for the sensors are as follows: the temperature sensor has an average error of 2.736%, the pH sensor has an average error of 1.742%, and the TSS sensor has an average error of 4.10%. For the PWM parameter, the system achieves highly accurate PWM values, effectively optimizing the tested water parameters. In conclusion, the Sugeno Fuzzy method demonstrates an average accuracy of 97.1% in monitoring and controlling the system to support decision-making processes.*

***Keywords:*** Krofta System, Total Suspended Solid (TSS), Water pH, Water Temperature, Fuzzy Logic

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR NOTASI .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pertanyaan Penelitian .....	2
1.3 Batasan Penelitian .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Kajian Pustaka.....	6
2.3 Metode <i>Fuzzy</i> .....	9
2.4 Sensor Suhu DS18B20.....	12
2.5 Sensor Turbidity (Kekeruhan Air) SEN024.....	13
2.6 Sensor pH air PH-4502C.....	14

2.7 ESP 32 Bord WROOM DA-MODULE.....	14
2.8 Extension Board ESP 32 30 pin.....	16
2.9 Power Supply .....	17
2.10 AC Dimmer PWM module Zero Crossing Detector .....	18
2.11 Pompa Booster 1 phasa 90 watt.....	19
2.12 Layar LCD 20x4 I2C Integrated.....	20
2.13 MySQL .....	21
2.14 Ngrok.exe.....	22
2.15 Sublime Text.....	23
2.16 Arduino IDE .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Alur penelitian .....	25
3.2 Identifikasi Masalah, Penetapan Tujuan, dan Rumusan Masalah .....	26
3.3 Analisis Kebutuhan Sistem.....	27
3.4 Perancangan Sistem .....	28
3.4.1 Diagram Konsep Penelitian.....	30
3.4.2 Flowchart Kerja Sistem.....	28
3.5 Perancangan dan Pembuatan Mekanik & Elektrik .....	32
3.6 Perancangan dan Pembuatan <i>Software</i> .....	34
3.6.1 Dperancangan <i>Software</i> MySQL .....	34
3.6.2 Perancangan Program Menggunakan Sublime Text .....	35
3.6.3 Perancangan Interface pada Web .....	43
3.7 PerancanganMetode <i>Fuzzy Logic</i> .....	41
3.6 Percobaan perhitungan Sistematis dan Simulasi Matlab .....	51
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>57</b>
4.1 Pengujian Sensor dan Aktuator.....	57

4.1.1 Pengujian Modul Sensor pH-4520C .....	57
4.1.2 Pengujian Modul Sensorsuhu DS18B20 .....	67
4.1.3 Pengujian Modul Sensor TSS DFRobot Sen024.....	76
4.1.4 Pengujian Powe Supply 5 Volt.....	84
4.1.5 Pengujian Layar LCD 20x4 I2C Integrated .....	86
4.1.6 Pengujian Booster pum 90 watt dengan AC Dimmer Driver.....	88
4.2 Pengujian Metode <i>Fuzzy</i> Logic Sugeno .....	91
4.3 Pengujian MySQL & <i>Web interface</i> .....	99
4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem Secara Real-Time .....	104
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>111</b>
5.1 Kesimpulan .....	111
5.2 Saran .....	112
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>113</b>
<b>LAMPIRAN BIODATA MAHASISWA .....</b>	<b>117</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha Pulp/Kertas.....	8
Tabel 2.2 Data acuan Check Stock Preparation (Chimical) .....	9
Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor Turbidity .....	13
Tabel 2.4 Spesifikasi Booster pump 90 watt .....	20
Tabel 3.1 Variabel Linguistik dan Kategori Setiap Parameter .....	44
Tabel 3.2 Tabel Nilai <i>Output</i> .....	46
Tabel 3.3 <i>Rule Base fungsi Implikasi</i> .....	48
Tabel 3.4 Percobaan Implikasi.....	53
Tabel 4.1 Larutan uji pH.....	59
Tabel 4.2 Grafik Prsamaan uji pH .....	59
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sepoint 1 .....	62
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sepoint 2.....	63
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sepoint 3.....	64
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sepoint 4.....	65
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Sepoint 5.....	66
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Sensor ph-450c dengan 5 <i>Setpoint</i> .....	67
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sepoint 1 .....	71
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sepoint 2.....	72
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Sepoint 3.....	73
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Sepoint 4.....	74
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Sepoint 5.....	75
Tabel 4.14 Hasil Pengujian pengukuran Sensor DS18b20 .....	76
Tabel 4.15 Hasil Regresi Linear .....	78
Tabel 4.16 Grafik Regresi Linear .....	78
Tabel 4.17 <i>Setpoint</i> 1 .....	81
Tabel 4.18 <i>Setpoint</i> 2 .....	82
Tabel 4.19 <i>Setpoint</i> 3 .....	83
Tabel 4.20 Hasil pengujian Sensor SEN204 dengan 3 <i>Setpoint</i> .....	84
Tabel 4.21 Tabel <i>Percentage Error</i> .....	107

Tabel 4.22 Grafik Uji Data TSS .....	107
Tabel 4.23 Grafik Uji Data pH .....	108
Tabel 4.24 Grafik Uji Data Suhu.....	109

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Diagram Alur Penggunaan Air.....	5
Gambar 2.2 Krofta .....	6
Gambar 2.3 Logo MySQL .....	10
Gambar 2.4 Ngrok .....	12
Gambar 2.5 Pin konfigurasi ESP32 .....	13
Gambar 2.6 Penggunaan Pin ESP32 WROOM .....	14
Gambar 2.7 Power Supply 12 VDC.....	15
Gambar 2.8 Expansion Bard 30 pin .....	17
Gambar 2.9 Kaki-kaki Sensor DS18B20 .....	18
Gambar 2.10 Sensor Turbidity SENO189.....	19
Gambar 2.11 Sensor pH-4520C.....	20
Gambar 2.12 Pompa Booster pump 1 phasa.....	21
Gambar 2.13 Module AC light .....	22
Gambar 2.14 Layar LCD 20x4 I2C Integrated .....	23
Gambar 2.15 Logo Sublime Text .....	24
Gambar 3.1 Flowchart Kerangka Kegiatan Ilmiah .....	25
Gambar 3.2 Diagram Konsep Penelitian .....	28
Gambar 3.3 Flowchart Kerja Sistem .....	31
Gambar 3.4 Diagram close loop .....	33
Gambar 3.5 plant sistem krofta .....	33
Gambar 3.6 Perancangan Hardware .....	34
Gambar 3.7 Perancangan Mekanik 1 .....	34
Gambar 3.8 Perancangan Mekanik 2 .....	35
Gambar 3.9 Pengaturan Tabel pada Database MySQL .....	35
Gambar 3.10 Rancangan <i>Interface</i> layar.....	44
Gambar 3.11 Perancangan <i>Software</i> .....	45
Gambar 3.12 Diagram, <i>Input</i> , proses, dan <i>output</i> .....	46
Gambar 3.13 <i>Membership Function</i> Variabel Suhu .....	47
Gambar 3.14 <i>Membership Function</i> Variabel pH .....	48

Gambar 3.15 <i>Membership Function</i> Variabel TSS .....	49
Gambar 4.1 Skema Rangkaian Sensor pH-4520C .....	57
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Sensor pH .....	58
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Pada Arduino .....	58
Gambar 4.4 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 1 .....	59
Gambar 4.5 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 2 .....	60
Gambar 4.6 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 3 .....	61
Gambar 4.7 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 4 .....	62
Gambar 4.8 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 5 .....	63
Gambar 4.9 Skema Rangkaian Sensor Suhu DS18B20 .....	66
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Sensor Suhu .....	67
Gambar 4.11 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 1 .....	68
Gambar 4.12 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 2 .....	69
Gambar 4.13 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 3 .....	70
Gambar 4.14 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 4 .....	71
Gambar 4.15 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 5 .....	72
Gambar 4.16 Skema Rangkaian Sensor pH-4520C .....	76
Gambar 4.17 Hasil Pengujian Sensor SEN024 .....	77
Gambar 4.18 Hasil Pengujian Pada Arduino .....	77
Gambar 4.19 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 1 .....	78
Gambar 4.20 Hasil Pengujian <i>Setpoint</i> 2 .....	79
Gambar 4.21 Hasil Pengujian Power Supply .....	86
Gambar 4.22 Skema Rangkaian LCD 20x4 I2C .....	87
Gambar 4.23 Hasil Pengujian Layar 20x4 I2C .....	87
Gambar 4.24 Rangkaian AC Dimmer ROBOTDyn .....	88
Gambar 4.25 Percobaan 1 Driver AC Dimmer .....	90
Gambar 4.26 Percobaan 2 Driver AC Dimmer .....	90
Gambar 4.27 Percobaan 3 Driver AC Dimmer .....	91
Gambar 4.28 Rangkaian Pengujian 3 sensor dengan layar .....	93
Gambar 4.29 Hasil Pengujian 1 .....	97
Gambar 4.30 Probe sensor sebagai <i>Input</i> .....	97
Gambar 4.31 Hasil <i>toolbox</i> Matlab pengujian 1 .....	98

Gambar 4.32 Hasil Pengujian 2 .....	98
Gambar 4.33 Hasil toolbox Matlab pengujian 2 .....	99
Gambar 4.34 Tabel pada HeidiSQL .....	101
Gambar 4.35 Tabel hasil HeidiSQL 1.....	101
Gambar 4.36 Tabel hasil HeidiSQL 2.....	102
Gambar 4.37 <i>Web Interface</i> .....	102
Gambar 4.38 Proses <i>Tunneling</i> Ngrok .....	103
Gambar 4.39 Penempatan Sensor pada <i>Sample Tank</i> .....	104
Gambar 4.40 Tampilan Nilai di Layar .....	105
Gambar 4.41 Hasil Pengukuran 12 Januari 2025 .....	105
Gambar 4.42 <i>Web interface</i> tanggal 12 januari 2025 .....	106
Gambar 4.43 Form StockPrep .....	106
Gambar 4.44 Hasil pengukuran 27 Januari untuk pH dan Suhu.....	108

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## ***DAFTAR NOTASI***

V	= Volt
°C	= Derajat Celcius
DC	= Direcr Current
VDC	= Volt Direct Current
mA	= Mili Ampere
mS	= Mili Second
g	= Gram
PWM	= Pulse Width Modulation
pH	= Potential of Hydrogen
A	= Ampere
Ppm	= parts per million
TSS	= Total Suspended Solid

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# ***BAB 1***

## ***PENDAHULUAN***

### **1.1 Latar Belakang**

Penggunaan tisu atau *tissue* sudah seperti kebutuhan dalam kebiasaan saat ini sehari-harinya. Tisu cukup praktis karena mudah untuk dibawa kemana saja, tidak seperti sapu tangan yang dalam penggunaannya harus dicuci setelahnya (Jangga, Latu, and Syarifuddin 2022). Tisu adalah lembaran halus yang terbuat dari bahan serat alami ataupun bahan daur ulang kertas. Tisu berguna untuk membersihkan muka, membersihkan tangan, hingga untuk kepentingan di toilet. Maka dari itu, banyak bermunculan berbagai jenis *tissue* disekitar masyarakat. Hal ini menjadi tantangan di dunia industri hingga pada akhirnya diproduksi berbagai jenis *tissue* sesuai kegunaannya. Air merupakan bahan utama dari proses pembuatan tisu. Pada proses produksi tisu, air digunakan pada tahap pengolahan *pulp* menjadi buburan serat, pembentukan lembaran tisu, dan digunakan untuk membersihkan bagian *Felt* dan *Wire*. Berdasarkan pengertian yang disampaikan oleh Yanti, Hermawati, and Tang (2021), dapat disimpulkan *Pulp* berasal dari proses penghalusan kayu dengan cara mekanis, kimia, ataupun semikimia. Pada produksi satu ton tisu, dibutuhkan ribuan liter air. Air yang digunakan ini harus bersih dan terbebas dari kontaminan agar tidak memengaruhi kualitas produk akhir *tissue*.

*Felt* dan *wire* merupakan komponen cukup penting dalam mesin pembuat kertas. Dimana keduanya memiliki fungsi spesifik dalam proses pembentukan dan pengeringan lembaran kertas. *Felt* berperan sebagai media untuk menyerap air dari lembaran *tissue* basah setelah melalui bagian pembentukan (*forming section*). *Wire* merupakan anyaman kawatkasa yang berbentuk *mesh* dengan ukuran tertentu sekitar 100 *mesh* dan bisa bergerak ke kiri dan kanan (Ismayana et al. 2022). *Wire* berfungsi sebagai tempat pembentukan *pulp* basah menjadi lembaran kertas. Kedua komponen tersebut harus dijaga dan diperhatikan kebersihan dari serat-serat *tissue* yang menempel atau kotoran lainnya dengan cara pembersihan menggunakan air bertekanan yang disemprotkan dengan *Nozzle* khusus. Air yang

disemprotkan berasal dari hasil proses pembentukan dan pengeringan *tissue* yaitu white water atau air yang masih mengandung banyak serat pulp hingga akhirnya diolah menjadi Clarified Water. Pada prosesnya dibantu dengan adanya sistem Krofta. Sistem Krofta (DAF *system*) sendiri merupakan teknologi pengolahan air limbah yang berfungsi untuk memisahkan partikel-partikel padat dari air. Pada sistem krofta ini, terjadi upaya pengurangan penggunaan air serta pengurangan limbah cairan yang nantinya akan diolah kembali oleh Instalasi pengolah air limbah (IPAL).

Sistem Kontrol serta Monitoring Air dengan Parameter kekeruhan Total Suspended Solid (TSS), pH, dan Suhu Air pada Sistem Krofta di PT. X sangat dibutuhkan guna memonitor proses pada daur ulang air sistem krofta. Alat ini didesain akan menggunakan modul sensor pendeteksi *Total Solid Suspended* (TSS), Pendeteksi pH, dan pendeteksi Suhu sebagai *input*, mikrokontroler akan menggunakan ESP 32 sebagai alat pemrosesan dengan Metode *Fuzzy* sebagai sistem program didalamnya serta untuk mengatur Nilai TSS, pH, dan suhu akan menggunakan pompa yang akan mengalirkan bahan *Flokulan* yaitu *Fenonol* dan debit alirannya akan diatur melalui signal *Pulse Width Modulation* (PWM) dan juga driver *AC Dimmer*.

## 1.2 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan sistem kontrol untuk mendeteksi Total Solid Suspended (TSS), pH, dan Suhu pada proses daur ulang air pada Krofta?
2. Bagaimana implementasi metode *Fuzzy logic* pada sistem kontrol untuk mengatur nilai Total Solid Suspended (TSS), pH, dan Suhu pada proses daur ulang air pada Krofta?
3. Bagaimana memonitoring secara *real-time* parameter Total Solid Suspended (TSS), pH, dan Suhu pada sistem kontrol proses daur ulang air pada Krofta?

## 1.3 Batasan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah ditemukan maka penulis membatasi kajian yang dibahas pada laporan penelitian ini sebagai berikut:

- a) Tidak membahas tentang Proses Produksi secara rinci selain daur ulang air pada bagian Produksi yang ada pada PT. X
- b) Tidak membahas penggunaan jenis atau merk bahan flokulan dan koagulan yang digunakan pada PT. X
- c) Perancangan alat hanya dibatasi untuk memonitor TSS, pH, dan suhu air pada proses daur ulang air Krofta yaitu Clarified water dan White water.
- d) Perancangan alat tidak mengukur laju aliran dan dosis penggunaan bahan kimia yaitu flokulan dan koagulan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Dari Penelitian ini penulis memiliki tujuan sebagai berikut:

- 1. Untuk membuat rancangan alat yang dapat mendeteksi Total Solid Suspended (TSS), pH, dan Suhu pada proses daur ulang air pada krofta.
- 2. Untuk mengetahui keefektifan implementasi *Fuzzy* logic Total Solid Suspended (TSS), pH, dan Suhu yang optimal dalam proses pengolahan daur ulang air krofta.
- 3. Untuk mengetahui metode pemantauan terhadap Total Solid Suspended (TSS), pH, dan Suhu pada sistem kontrol proses daur ulang air pada Krofta.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat hasil penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

- 1. Dapat mengetahui Nilai Total Suspended solid (TSS), pH, dan suhu yang optimal untuk proses cleaning Flet dan Wire menggunakan *nozel*.
- 2. Dapat mengontrol penggunaan bahan kimia yang digunakan pada proses daur ulang air krofta menggunakan metode Koagulasi dan Flokulasi.
- 3. Dapat membantu Operator mesin dan bagian QC dalam pemantauan kondisi air daur ulang krofta.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## ***BAB 2***

### ***TINJAUAN PUSTAKA***

#### **2.1 Kajian Penelitian Terdahulu**

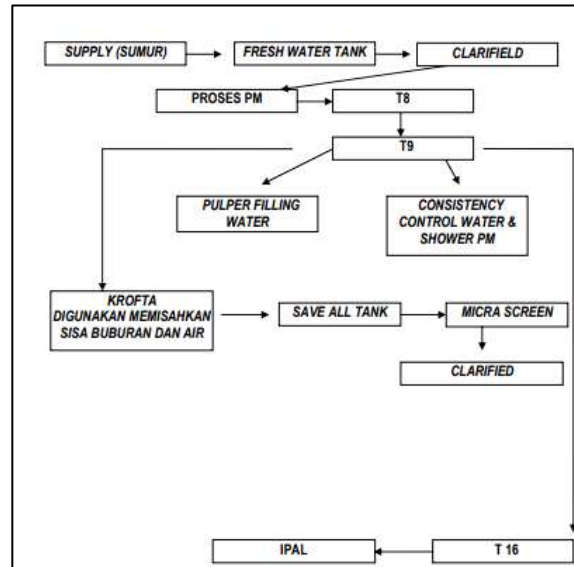
Kegunaan Air sangat penting dalam dunia industri. Hal ini tentu berkaitan dengan penelitian mengenai uji kualitas air yang digunakan. Pada berbagai manufaktur, tidak terlepas dari penggunaan air dan pada setiap sistemnya terdapat proses pengaturan dan pengawasan untuk mengetahui kualitas air yang digunakan dan kualitas air pada proses daur ulang air yang digunakan kembali. Banyak parameter yang digunakan namun kebanyakan yaitu parameter Total Solid Suspended (TSS), Ph, dan Suhu air.

Pertama Pengujian Uji pH Air dan suhu air yang ditulis oleh Andi Subagyo Putra, Slamet Budiprayitno, dan Lucky Putri Rahayu (2021) dari Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) judul *Perancangan Sistem Kontrol pH dan Suhu Air Menggunakan Metode Fuzzy dan Terintegrasi dengan Internet of Things (IoT) pada Budidaya Ikan Hias*. Andi Subagyo Putra dan tim meneliti tentang kualitas air dengan parameter pH dan suhu Air menggunakan Metode *Fuzzy*. terdapat tiga bagian pada sistem, masukan menggunakan sensor deteksi pH dan suhu air, sinyal dari sensor dihubungkan menuju controller. Pada tahap tersebut, data dikonversi menjadi data berbasis digital. Pada penelitian ini memiliki *output* aktuator yaitu heater dan motor pump, hasil pH dan Suhu yang nantinya tersaji pada LCD dan aplikasi Blynk ketika controller memakai metode *Fuzzy* sugeno, dengan dua masukan, membership function suhu berupa dingin, normal dan panas, serta membership function pH berupa asam sekali, asam, netral, basa serta basa sekali.

Kedua pengujian kualitas air dengan parameter pH, total padatan terlarut (TDS), dan tingkat kekeruhan (TSS) yang ditulis oleh Rosihan Anwar Matondang, Pausan Lubis, dan Herri Trisna Frianto (2022) dari jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Medan dengan judul Rancang Bangun Water Treatment Sistem Pemantau Kualitas Air Berbasis Internet Of Things (Iot). Rosihan dan tim meneliti juga menggunakan metode *Fuzzy* dalam proses analisa yang dipakai.

## 2.2. Kajian Pustaka

Pada kajian pustaka ini, berisi alur dari proses kendali air pada perusahaan yaitu pada bagian divisi Produksi.



Gambar 2. 1 Diagram Alur Penggunaan Air  
(Sumber : Divisi Produksi PM16/17 PT. X)

Pada proses produksi tissue di PT. X bahan baku utama yaitu air selain bahan baku Pulp. Air berperan penting dalam proses pembuatan tisu. Air didapat dari sumur lalu dipompa melewati filter untuk menyaring kotoran kemudian disimpan di fresh water storage. Kegunaan yaitu sebagai pembersih felt dan air yang menggunakan pompa bertekanan 30 bar yang dinamakan High Pressure Water. Air bekas dari pembersihan felt dan wire di sebut dengan white water. White water ialah air yang mengandung campuran buburan. White water ditampung di silo pit dan proses selanjutnya dipompa ke white water tank. Kemudian masuk proses memisahkan buburan dengan air yang ada pada white water tersebut.



Gambar 2.2 Krofta  
(Sumber : Divisi Produksi PM16/17 PT. X)

White water akan ditransfer ke krofta, di sini white water akan diproses dengan penambahan bahan kimia Flokulan. Bahan kimia flokulan akan dibantu oleh angin bertekanan yang disemprotkan dari bawah dasar krofta. Hal ini berfungsi untuk mengangkat buburan fiber yang terkandung dalam white water. Fiber yang terangkat ke atas akan menggumpal dipermukaan air, setelah itu akan terjadi proses scrapping. fiber yang menggumpal dipermukaan air akan discrub dengan menggunakan scrapping. Scrapping bertujuan untuk mengambil atau mengangkat fiber. Fiber yang telah discrub akan dialirkan menuju broke dump chest. Sedangkan air dari white water storage yang telah dipisahkan dari fiber akan dialirkan menuju clear water storage. Clarified water juga berfungsi sebagai shower. Clarified water akan dilakukan uji kejernihannya, diantaranya yaitu uji TSS, pH air, dan uji Suhu. Penentuan parameter uji ini sesuai dengan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 80 tahun 2019 tentang pemantauan kualitas air limbah pada industri *pulp* atau kertas yang menjelaskan tentang pentingnya pengukuran nilai pH dan TSS. Pengujian parameter ini dilakukan untuk menjaga kualitas air tetap bersih sebelum air kembali difiltrasi oleh bagaian IPAL. Pengujian ini dilakukan setiap empat jam sekali, dan dilakukan dengan cara mengambil *sample* satu per satu dengan alat pengukur kekeruhan/TSS, pH, dan suhu secara terpisah.

Pada setiap parameter terdapat nilai Baku Mutu Air (BMA) yang akan digunakan sebagai acuan data. Baku Mutu Air adalah standar yang ditetapkan secara resmi untuk menentukan kualitas air yang aman dan layak sesuai dengan peruntukannya, baik itu untuk kebutuhan manusia, kegiatan industri, pertanian, maupun pemeliharaan ekosistem. Baku mutu air diatur dalam peraturan perundang-undangan yaitu Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Untuk Bahan Baku mutu Industri khususnya industri manufaktur pembuatan kertas dan tisu yaitu diatur pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku mutu Air Limbah. Pada peraturan ini dijelaskan dengan jelas nilai-nilai parameter yang perlu diperhatikan. Berikut merupakan tabel acuannya.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Bagi usaha Pulp/ Kertas

Proses/Produk	PARAMETER						
	Debit	BOD <sub>5</sub>		COD		TSS	
		Kadar Paling Tinggi (mg/ton)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)	Kadar paling tinggi (mg/ton)	Beban Pencemaran paling tinggi (kg/ton)	Kadar Paling Tinggi (mg/ton)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
A. Pulp							
Kraft dikelantang	85	100	8,5	350	29,75	100	8,5
Pulp larut	95	100	9,5	300	28,5	100	9,5
Kraft yang tidak dikelantang	50	75	3,75	200	10,0	60	3,0
Mekanik (CMP dan <i>Grounwood</i> )	60	50	3,0	120	7,2	75	4,5
Semi Kimia	70	100	7,0	200	14,0	100	7,0
Pulp Soda	80	100	8,0	300	24,0	100	8,0
De-ink Pulp (dari kertas bekas)	60	100	6,0	300	18,0	100	6,0
B. Kertas							
Halus	50	100	5,0	200	10,0	100	5,0
Kasar	40	90	3,6	175	7,0	80	3,2
Sparet	175	60	10,5	100	17,5	45	7,8
Kertas yang dikelantang	35	75	2,6	160	5,6	80	2,8
pH	6,0 - 9,0						

(Sumber : Peraturan Menteri LH Nomor 5 Tahun 2014)

Dari tabel di atas, perusahaan mengadaptasi dan menggunakan acuan penting dalam penentuan baku mutu air untuk pengolahan air white water, yang akan digunakan kembali pada bagian produksi tisu. Berikut merupakan tabel acuan yang ada pada PT. X dan diambil pada Krofta System, yaitu pada white water tank, sebagai referensi untuk pemantauan dari parameter suhu, pH, dan tingkat kekeruhan (TSS). Sistem ini dirancang untuk memastikan bahwa kualitas air daur ulang memenuhi standar yang ditetapkan, sehingga dapat mendukung proses produksi secara efisien tanpa mengurangi kualitas produk akhir. Hal ini juga menjadi langkah penting dalam mengoptimalkan pengelolaan sumber daya air dan meminimalkan dampak lingkungan dan dampak pada bagian mesin terlebih untuk felt dan wire.



Tabel 2.2 Data Acuan *Check Stock preparation (Chemical)*

Tissue Grade	Parameter Ukur	Min	Optimum	Maks	Injeksi PAC	Injeksi Flokulan
Facial (12 – 16 Gsm)	Temperature (°C)	< 35	33 – 45	> 40	Off	On
	TSS (PPM)	<23	23 – 47	> 45		
	pH	< 6,8	6,5 – 7,5	> 7,5		
Toilet (10,5 – 15 Gsm)	Temperature (°C)	< 30	27 – 48	> 48	On	On
	TSS (PPM)	< 15	15 – 33	> 30		
	pH	< 6	6,5 – 7,5	> 7,5		
Napkin (14 – 23 Gsm)	Temperature (°C)	< 35	33 – 42	> 40	Off	On
	TSS (PPM)	< 30	23 – 50	> 35		
	pH	< 6,8	6,5 – 7,6	> 7,6		

(Sumber : Data Baku Mutu Krofta PM 16 &amp;17 PT. X0)

### 2.3. Metode *Fuzzy*

*Fuzzy* merupakan teori himpunan logic yang diciptakan sebagai solusi atas konsep nilai yang terdapat diantara true dan false(Wahyuni 2021). *Fuzzy* logic digunakan sebagai metode sistem kontrol yang bertujuan untuk menyelesaikan berbagai masalah. Pendekatan ini sangat cocok diterapkan pada berbagai jenis sistem, mulai dari sistem yang sederhana dan kecil, embedded system, jaringan komputer, hingga multi-channel atau workstation yang berbasis akuisisi data dan sistem kontrol (Adha, Meidelfi, and Hidayat 2022). Metode ini sangat cocok digunakan pada penerapan sistem kontrol pada sistem alur air diakrenakan sistem air nantinya akan memiliki parameter-parameter yang dijadikan *input* dan *output* yang konstan. Logika *Fuzzy* dikembangkan teori himpunan. Nilai keanggotaannya yaitu antara 0 atau 1 atau memiliki dua nilai keanggotaan yakni “Ya” atau “Tidak. Namun besar dari nilainya bergantung sesuai bobot keanggotaannya. Secara Umum Asus Naba berpendapat bahwa logika *Fuzzy* adalah metodologi perhitungan yang melibatkan variabel kata sebagai media alternatif perhitungan nilai yang merupakan cara terdahulu (Panjaitan, Saripurna, and Syahputra 2019). Beberapa kelebihan memakai logika *Fuzzy* yaitu (Anistiyasari and Noer 2020):

1. Konsep *Fuzzy* logic dapat dimengerti dengan sederhana. Dalam sistem ini, dibutuhkan pemahaman matematika sederhana dan dapat dimenegerti.
2. Logika *Fuzzy* fleksibel digunakan terhadap beberapa *input* dan *output*.
3. Logika *Fuzzy* bisa membuat model untuk fungsi-fungsi yang rumit.

4. Logika *Fuzzy* bisa dipakai bersama teknik kontrol biasa.
5. Logika *Fuzzy* berlandaskan pada bahasa alami.

Metode Sugeno lebih dikenal sebagai metode Min-Max. Agar mendapatkan hasil keluaran dibutuhkan 4 tahapan (Amni 2023) :

1. Fuzzifikasi merupakan proses mencari derajat keanggotaan dari membership function. Membership function (fungsi keanggotaan) adalah sebuah kurva yang menggambarkan pengelompokan titik-titik data masukan berdasarkan nilai keanggotaannya, yang sering disebut sebagai derajat keanggotaan. Nilai ini memiliki rentang antara 0 hingga 1. (Putra, Budiprayitno, and Rahayu 2021).

Persamaan dasar dalam fuzzifikasi melibatkan fungsi keanggotaan  $\mu_{(x)}$ , yang memberikan nilai antara 0 dan 1, di mana  $(x)$  adalah nilai crisp (nilai tegas) dan  $\mu_{(x)}$  adalah derajat keanggotaan dari nilai  $(x)$  pada himpunan *Fuzzy*.

2. Aplikasi fungsi implikasi

- Fungsi keanggotaan segitiga (Tringular Membership Function):

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{jika } b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Fungsi keanggotaan trapesium (Trapezoidal Membership Function):

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{jika } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{jika } c \leq x \leq d \end{cases} \dots\dots\dots (2.2)$$

3. Komposisi aturan

Pada metode Sugeno, setiap aturan menghasilkan *output* yang biasanya berupa fungsi linier atau nilai konstan yang selanjutnya, menggunakannya dalam pemodifikasian wilayah *Fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke keluaran dengan memakai operator AND (Rustiawan 2022). Bentuk umum Aturan sugeno yaitu:

*IF*  $(X_1 \text{ is } A_1)$  *AND*  $(X_2 \text{ is } A_2)$  ... *AND*  $(X_n \text{ is } A_n)$  *THEN*  $z = f((x_1 \ x_2 \ ... \ x_n)$

- Premis (IF): Bagian yang terdiri dari kondisi-kondisi *input* yang dinyatakan dengan himpunan *Fuzzy* (misalnya, "rendah", "sedang", "tinggi").
- Konektor logika: Biasanya menggunakan "AND" atau "OR" untuk menghubungkan beberapa kondisi dalam premis.
- Konsekuen (THEN): Bagian yang mendefinisikan *output*. Pada metode Sugeno, konsekuen berupa fungsi linier atau nilai konstan.

#### 4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses konversi *output* linguistic menjadi data numerik (Rachmawati, Rusimamto, and Zuhrie 2020). Dalam metode Sugeno, setiap aturan *Fuzzy* menghasilkan *output* berbentuk fungsi linier atau nilai konstan. Untuk menghasilkan nilai crisp akhir, *output* dari setiap aturan ditimbang berdasarkan derajat keanggotaan (atau bobot) dari aturan tersebut. Rata-rata tertimbang ini kemudian dihitung dengan membagi jumlah dari semua *output* tertimbang dengan jumlah total bobot dari semua aturan. Berikut merupakan persamaan untuk Metode Weighted Average:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana:

- $Z$  adalah nilai crisp (nilai tegas) hasil defuzzifikasi.
- $W_i$  adalah derajat keanggotaan atau bobot dari aturan ke- $i$ . Bobot ini biasanya berasal dari inferensi *Fuzzy* dan menunjukkan seberapa besar aturan tersebut dipenuhi.
- $Z_i$  adalah *output* dari aturan ke- $i$ . *Output* ini bisa berupa nilai konstan atau fungsi linier seperti  $Z_i = a_i X + b_i y + c_i$
- $n$  adalah jumlah aturan *Fuzzy*.

## 2.4. Sensor Suhu DS18B20



Gambar 2.3 kaki-kaki sensor DS18B20  
(Sumber : <https://LastMinutesEngineers.com>)

DS18B20 merupakan sensor temperatur digital dimana sensor dapat membaca dengan ketelitian 9 – 12 bit, dan suhu dengan rentang  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai  $125^{\circ}\text{C}$  dan akurasi ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ). Sensor ini mempunyai kelebihan ketahanan terhadap air sehingga sesuai jika digunakan dalam proses pengukuran suhu pada tempat tidak mudah, atau basah (Finanda, Dedy Irawan, and Auliasari 2020). Sesuai dengan penjelasan Huda (2022) yaitu sensor DS18B20 merupakan sensor dengan fungsi memonitor temperatur alat yang temperaturnya bisa berubah-ubah. penggunaannya yaitu memonitor salah satu parameter yaitu suhu air pada sistem krofta. Sensor ini mempunyai fitur utama berikut penjelasannya:

1. Menggunakan single wiring yang digunakan sebagai komunikasi (protokol 1-Wire).
2. Tidak perlu komponen lainnya untuk mendukung sensor.
3. Menggunakan sumber tegangan dari 3V sampai 5.5V.
4. Dapat mengukur suhu dari  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $+125^{\circ}\text{C}$ .
5. Mempunyai akurasi  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  pada skala  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $+85^{\circ}\text{C}$ .
6. Resolusi sensor ditentukan mulai dari 9 sampai 12 bit.

Sensor DS18B20 punya dua jenis pelindung luar, yaitu frame pelindung biasa & frame *waterproof* yang akan dipakai untuk penelitian kali ini.

## 2.5. Sensor Turbidity (Kekeruhan Air) SEN024



Gambar 2.4 Sensor Turbidity SEN024  
(Sumber : <https://www.electronicclinic.com>)

Sensor Turbidity adalah sensor pengukuran kualitas air dengan pendeteksian terhadap level kekeruhannya (Sulistyo, Somawirata, and Sotyohadi 2019). Sensor ini memakai cahaya dalam pendeteksian partikel yang ada pada air yaitu caranya mengukur transmisi cahaya dan tingkat penghamburan cahaya yang berubah sesuai dengan jumlah TTS (*Total Suspended Solids*)(Matondang, Lubis, and Frianto 2022). Meningkatnya TTS nantinya akan membuat tingkat kekeruhan cairan juga meningkat.

Ada dua mode yang dikeluarkan dari alat ini, yakni *output* digital dan *output* analog. Sesuai *datasheet*, berikut adalah spesifikasi nya :

Tabel 2.2 Spesifikasi sensor Turbidity

No.	Variabel	Spesifikasi
1	Tegangan Operasional	5 VDC
2	Arus Operasional	40 mA (Max)
3	Waktu Respons	< 500 mS
4	Output Analog	0 - 4,5 Volt
5	Rentang Temperature	5 derajat Celcius s/d 90 derajat Celcius
6	Storage Temperature	- 10 derajat Celcius s/d 90derajat Celcius
7	Berat	30 g
8	Dimensi	38 mm x 28 mm x 10 mm

Untuk melakukan kalibrasi sesuai dengan *datasheet* bahwa keluaran ideal untuk kalibrasi yaitupada saat melakukan uji coba sensor, didapati angka setelah uji sebesar 4,2 Volt ketika sensor adadi air jernih atau dapat menggunakan air RO. Nilai tersebut diambil dari grafik hubungan antara turbidity dengan tegangan dan dapat disimpulkan menjadi persamaan yaitu  $y = -1120.4x^2 + 5742.3x - 4353.8$ . X merupakan angka tegangan dan y merupakan angka kekeruhan.

## 2.6. Sensor pH Air PH-4520C



Gambar 2.5 sensor pH-4502C  
(Sumber : <https://digiwarestore.com>)

Sensor pH air PH-4502C salah satu sensor pengukur pH yang dirancang sebagai pengukur level keasaman atau kebasaan cairan, termasuk air. Sensor pH digunakan untuk mengetahui derajat keasaman (Ardiyansyah and Abdullah 2022). Sensor ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri, pertanian, akuakultur, dan pengolahan air. Sensor ini mudah diintegrasikan dengan perangkat seperti mikrokontroler (Arduino, Raspberry Pi, dsb.) dan sistem otomatisasi yang memerlukan pengukuran pH secara real-time. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang sensor PH-4502C:

1. Rentang Pengukuran pH: 0 hingga 14 pH
2. Akurasi:  $\pm 0.1$  pH
3. Voltase Operasi: 5V DC hingga 9V DC (biasanya 5V jika digunakan dengan mikrokontroler)
4. Keluaran Sinyal: Tegangan analog yang berbanding lurus dengan nilai pH (biasanya 0-3V).
5. Kondisi Operasi: Sensor ini dapat bekerja pada suhu antara 0 hingga 60°C.
6. Kalibrasi: Sensor PH-4502C biasanya mendukung kalibrasi manual menggunakan larutan buffer pH standar, seperti pH 4.0, pH 7.0, atau pH 10.0.

## 2.7. ESP32 Board WROOM DA-Module

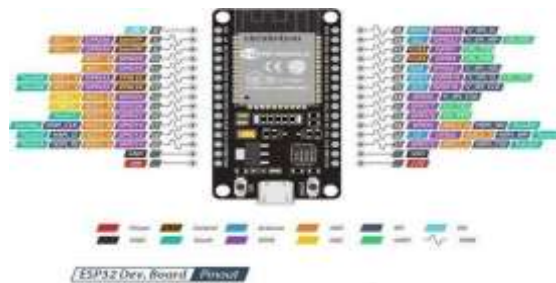
ESP32 merupakan chip dengan WiFi 2.4 GHz serta *bluetooth* beserta rekayasa teknologi 40 nm yang dibuat bagi daya dan kinerja radio paling baik yang nantinya menunjukkan ketahanan, kegunaan, serta kehandalan pada bermacam-macam aplikasi dan skenario daya (Devia et al. 2024). ESP32 memiliki fitur ganda yang difungsikan untuk memudahkan *user* menciptakan berbagai aplikasi dan skema berbasis IoT (*Internet of Things*). *Internet of Things* adalah pengembangan

bidang pengetahuan yang cukup penting sebagai pengoptimalisasikan kehidupan dengan menggunakan sensor cerdas serta peralatan pintar yang berkolaborasi melalui internet (Selay et al. 2022).

Bentuk Board gambar dibawah :

1. Terdapat 30, meliputi pin tegangan dan GPIO.
2. 15 pin ADC (Analog to Digital Converter)
3. 3 UART Interface
4. 3 SPI Interface
5. 2 I2C Interface
6. 16 pin PWM (Pulse Width Modulation)
7. 2 pin DAC (Digital to Analog Converter)

Memiliki Konfigurasi yakni :



Gambar 2.6 Penggunaan Pin ESP32 DA-WROOM  
(Sumber: <https://www.arduino.biz.id/>)

Gambar di bawah menunjukkan fungsi setiap pin dan terdapat pin yang berfungsi sebagai masukan, keluaran sinyal dan pin yang tidak dapat digunakan.

GPIO	Input	Output	Notes
0	Pulled-up	OK	Outputs PWM signal boot
1	TX Pin	OK	Debug output at boot
2	OK	OK	Connected to on-board LED
3	OK	RX Pin	High at boot
4	OK	OK	
5	OK	OK	Outputs PWM signal at boot
6	×	×	Connected to the integrated SPI Flash
7	×	×	Connected to the integrated SPI Flash
8	×	×	Connected to the integrated SPI Flash
9	×	×	Connected to the integrated SPI Flash
10	×	×	Connected to the integrated SPI Flash
11	×	×	Connected to the integrated SPI Flash
12	OK	OK	

13	OK	OK	Output PWM signal at boot
14	OK	OK	Output PWM signal at boot
15	OK	OK	
16	OK	OK	
17	OK	OK	
18	OK	OK	
19	OK	OK	
20	OK	OK	
21	OK	OK	
22	OK	OK	
23	OK	OK	
25	OK	OK	
26	OK	OK	
27	OK	OK	
28	OK	OK	
29	OK	OK	
30	OK	OK	
31	OK	OK	
32	OK	OK	
33	OK	OK	
34	OK		
35	OK		
36	OK		Input only
37	OK		Input only
38	OK		Input only
39	OK		Input only

Gambar 2.7 Penggunaan Pin ESP32 DA-WRROM

(Sumber : <https://www.arduino.biz.id/>)

## 2.8. Expansion Board for ESP 32 30 pin



Gambar 2.8 Expansion Bard 30 pin

ESP32 Expansion Board 30 Pin adalah modul pengembangan berbasis chip ESP32 dengan konfigurasi 30 pin yang dirancang untuk mempermudah integrasi ke perangkat keras lain. Modul ini dilengkapi prosesor dual-core, konektivitas Wi-



Fi dan Bluetooth, serta mendukung berbagai aplikasi seperti IoT, sistem otomatisasi, dan sistem real-time. Dengan 30 pin GPIO serbaguna, modul ini mendukung fungsi *input/output* digital, komunikasi serial (UART, SPI, I2C), PWM, ADC, dan DAC. Desainnya yang kompak dan kompatibel dengan breadboard mempermudah pembuatan prototipe, sementara dukungannya terhadap platform pemrograman seperti Arduino IDE dan MicroPython menjadikannya pilihan utama bagi para pengembang.

## 2.9. Catu Daya



Gambar 2.9 Power Supply 12 VDC  
(Sumber : <https://amsanelectronics.com/>)

Catu Daya merupakan salah satu jenis dari setiap perangkat elektronika yang berguna menjadi sumber tenaga. Komponen ini nantinya bekerja dengan mencatu tegangan yang dibutuhkan rangkaian elektronika. Seseuai dengan penjelasan Purwanto (2021) yaitu alat listrik yang menyediakan sumber tegangan mengonversi level tegangan listrik ke tegangan yang dibutuhkan. Pada hal ini adalah mengonversi tegangan AC ke tegangan DC. Prinsip kerja dari Power Supply DC adalah :

1. Penyearahan (Rectification): dilakukan oleh dioda yang mengonversi arus AC jadi arus DC. Pada tahap ini, arus masih belum sepenuhnya stabil.
2. Penyaringan (Filtering): Arus DC yang dihasilkan masih memiliki ripple atau riak karena. Oleh karena itu, kapasitor digunakan untuk menyaring riak tersebut dan menghasilkan arus DC yang lebih halus.
3. Pengaturan Tegangan (Voltage Regulation): Tahap selanjutnya adalah pengaturan tegangan. Komponen regulator tegangan seperti IC regulator digunakan untuk memastikan bahwa tegangan keluaran tetap stabil meskipun

tegangan *input* atau beban berubah. Hal ini bertujuan untuk menjaga alat berfungsi dengan baik tanpa kerusakan akibat perubahan tegangan.

4. Proteksi (Protection): Power supply modern biasanya dilengkapi dengan sirkuit proteksi untuk melindungi perangkat dari masalah seperti kelebihan arus (overcurrent), kelebihan tegangan (overvoltage), dan panas berlebih (overheating). Proteksi ini mencegah kerusakan pada perangkat atau power supply itu sendiri.
5. Konversi Daya (Power Conversion): Power supply dapat menggunakan teknik konversi daya seperti SMPS (Switching Mode Power Supply), yang lebih efisien dibandingkan power supply linier. Pada SMPS, arus listrik disakelar secara cepat (switching), sehingga lebih minim energi yang dibuang menjadi panas, dan efisiensinya lebih maksimal.

#### **2.10. AC Dimmer PWM Module Zero Crossing Detector**



Gambar 2.10 Module AC Light  
(Sumber : <https://robotdyn.com/ac-light-dimmer-module>).

AC Light Dimmer 220V PWM Module dengan detektor zero crossing merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol alat elektronik yang sumber tegangannya terhubung ke sumber listrik AC 220V. Modul ini bekerja dengan prinsip PWM (Pulse Width Modulation) dan deteksi zero crossing untuk mengatur daya yang dikirim ke beban. Module menggunakan Thyristor TRIAC dan gate driver sebagai interface antara mikrokontroler dengan rangkaian saklar daya TRIAC. Module juga sudah dilengkapi dengan rangkaian *zero crossing detector* yakni rangkaian yang memiliki fungsi untuk mendeteksi gelombang sinus AC saat melewati titik nol. Persilangan nilai pada titik nol yang terdeteksi yaitu peralihan gelombang dari

positif ke negatif begitu juga sebaliknya. Persilangan ini menjadi titik acuan untuk memberikan waktu tunda pemacu daya TRIAC.

1. Tegangan Beban (Load Voltage): 110 VAC/220 VAC( Tegangan yang digunakan untuk mengontrol beban tegangan pompa)
2. AC Frequency : 50/60 Hz.
3. Arus Beban (Load Current): penggunaan maksimum 8 Ampere (arus yang dapat dikendalikan oleh modul).
4. Jenis TRIAC : Tri-Ad BTA16.
5. *Input Pin* : TTL level 3,3 V to 5 Vc(Arduino & Raspberry pi compatible)
6. Kontrol: Mendukung kontrol on/off serta kontrol kecepatan menggunakan PWM (Pulse Width Modulation) dengan menggunakan rangkaian Zero Croussing detector.
7. *Output* : menghasilkan kontrol tegangan VAC dengan dimmer.

#### **2.11. Pompa Booster 1 phasa 90 watt**



Gambar 2.11 Pompa Booster pump 1 phasa  
(Sumber : <https://york-jp.co.id/york/>)

Pompa difungsikan media pemindahan cairan dengan menggunakan perantara pipa/selang dengan metode pendorongan fluida langsung secara mekanik sehingga terjadinya perubahan energi mekanik ke energi tekan/energi kinetik fluida serta dapat menyedot fluida dari suatu tempat ke tempat yang dituju (Kurniawan, Saragih, and Hasballah 2021). Pada sistem ini menggunakan pompa booster 1 phasa yang digunakan sebagai aktuator dan akan memindahkan chemical agent flokulan menuju tanki krofta. Booster pump bekerja dengan cara menambah tekanan pada aliran air, memungkinkan air mencapai titik-titik yang lebih jauh atau lebih tinggi dengan tekanan yang cukup. Pompa booster menggunakan motor induksi satu fasa yang terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor

adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator. Motor induksi terdiri atas kumparan-kumparan stator dan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor.

Berikut merupakan Spesifikasi dari penggunaan pompa booster 1 phasa yang akan digunakan pada alat ini :

Tabel 2.3 Spesifikasi Booster pump 90 watt

Power	90 watt
Kecepatan motor	2860 RPM
Voltase	220 VAC
Frekuensi	50Hz
Flow rate pompa	20 L/min atau 1200 L/Hours
Daya dorong	±10 m
Ketahanan suhu	Max. 120 °C
Arus Listrik (I)	0,4 Ampere
Kapasitansi	3μF
Proteksi	IP54
Selang Inlet	½ atau ¾ Inchi
Selang outlet	½ inchi

(Sumber : <https://york-jp.co.id/york/>)

## 2.12. Layar LCD 20x4 I2C Integrated



Gambar 2.12 Layar LCD 20x4 I2C Integrated

(Sumber : <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-lcd-20x4>)

Layar LCD 20x4 adalah modul tampilan yang memiliki 20 kolom dan 4 baris. Ini berarti layar dapat menampilkan 80 karakter secara bersamaan. Layar ini sering digunakan dalam proyek mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, dan mikrokontroler berbasis AVR atau PIC. 2C (Inter-Integrated Circuit) adalah protokol komunikasi serial yang memungkinkan komunikasi antara mikrokontroler dan perangkat periferan menggunakan hanya 2 kabel utama yaitu

SDA (Serial Data Line): Jalur data SCL (Serial Clock Line): Jalur clock. I2C memungkinkan beberapa perangkat untuk berbagi bus komunikasi yang sama dengan menggunakan alamat unik untuk setiap perangkat.

### 2.13. MySQL



Gambar 2.13 Logo MySQL  
(Sumber : <https://alan.co.id>)

MySQL adalah sistem manajemen database open-source yang menggunakan perintah dasar berupa Structured Query Language (SQL). MySQL sangat populer dalam dunia teknologi dan berfungsi sebagai basis data untuk menyimpan dan mengelola informasi secara efisien. Sistem ini merupakan sistem database yang banyak digunakan untuk pengembangan aplikasi web (Bahri 2020). Pada penggunaan MySQL dapat diatur menggunakan local host dengan mengakses PHPmyAdmin atau menggunakan aplikasi pengembang yaitu HeidiMySQL. Heidi SQL merupakan aplikasi pengelola database yang mudah digunakan dan sangat user friendly (Budi Prasetya, Ridho Dwi Saputro, and Ridwan Arif Cahyono 2022)

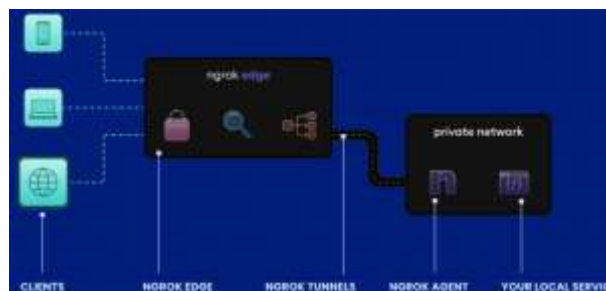
MySQL berfungsi utama mengelola informasi dalam database di sisi server menggunakan bahasa pemrograman SQL. Saat ini, hampir semua penyedia hosting mendukung MySQL untuk keperluan pengembangan web. Selain itu, MySQL dikenal sebagai salah satu database terpopuler setelah Oracle Database, berkat berbagai keunggulan yang dimilikinya. Berikut beberapa kelebihan MySQL:

1. Open-source, MySQL adalah sistem manajemen database berbasis open-source, yang artinya dapat digunakan secara gratis oleh siapa saja tanpa biaya.
2. Keamanan yang handal, Meskipun bersifat open-source, MySQL dikenal sebagai DBMS dengan sistem keamanan yang kuat. Hal ini didukung oleh

beberapa lapisan keamanan, seperti perlindungan berbasis host dan enkripsi kata sandi, sehingga data pengguna tetap aman terlindungi.

3. Dukungan Multi-user, MySQL memungkinkan penggunaan secara bersamaan oleh banyak pengguna tanpa risiko crash atau hilangnya data meskipun dikerjakan secara bersamaan.
4. Kompatibilitas dengan berbagai bahasa pemrograman Selain SQL, MySQL juga mendukung berbagai bahasa pemrograman lainnya, seperti PHP dan JavaScript, yang membuat proses pengembangan aplikasi lebih fleksibel dan efisien.
5. Mendukung berbagai tipe data, MySQL mendukung berbagai jenis data, seperti integer, timestamp, text, date, character, float, dan lainnya, yang mempermudah pengelolaan data pada server aplikasi atau website.
6. Standar industri, Dengan dukungan banyak cluster server, MySQL menjadi solusi andal untuk menyimpan data dalam jumlah besar, sekaligus membantu aktivitas bisnis lainnya dengan performa yang optimal.

#### 2.14. Ngrok.exe



Gambar 2.14 Skema Tunnels Ngrok  
(Sumber : <https://ngrok.com/>)

Ngrok adalah sebuah platform yang memungkinkan pengguna untuk mempublikasikan server lokal ke internet melalui tunneling, sehingga dapat diakses secara publik tanpa memerlukan hosting atau konfigurasi jaringan yang rumit. Ngrok adalah sebuah platform yang menyediakan solusi yang memungkinkan aplikasi pada jaringan pribadi untuk diakses melalui internet (Wijaya et al. 2024). Layanan ini sering digunakan untuk keperluan pengembangan aplikasi, pengujian webhooks, dan demonstrasi proyek secara langsung. Dengan menggunakan Ngrok, pengguna dapat mengamankan akses melalui protokol HTTPS dan memanfaatkan fitur monitoring real-time untuk

menganalisis trafik. Karena kelebihan itulah, Ngrok dapat digunakan sebagai solusi praktis untuk mengakses database MySQL yang berjalan di server lokal secara aman dan mudah dari lokasi lain melalui internet. Dengan memanfaatkan tunneling, Ngrok memungkinkan pengembang untuk mengekspos port MySQL lokal ke internet dengan URL publik yang aman, tanpa perlu konfigurasi jaringan atau membuka firewall. Fitur-fitur utama dari ngrok:

1. Tunneling yang Mudah, Ngrok menyediakan mekanisme tunneling yang memungkinkan pengguna untuk menghubungkan aplikasi lokal atau layanan tertentu (seperti server web, MySQL, dll.) ke internet melalui URL publik tanpa perlu konfigurasi jaringan yang rumit.
2. Dukungan Protokol Beragam, Ngrok mendukung berbagai protokol, termasuk HTTP, HTTPS, dan TCP, sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti server web, database, atau layanan khusus lainnya.
3. Keamanan HTTPS, Setiap koneksi yang dibuat melalui Ngrok dilindungi oleh enkripsi HTTPS, memastikan keamanan data yang dikirimkan melalui internet.
4. Autentikasi dan Kontrol Akses, Ngrok memungkinkan pengguna untuk mengamankan endpoint mereka dengan autentikasi berbasis password atau token.
5. Analisis Real-Time, Ngrok menyediakan fitur monitoring dan analisis lalu lintas secara real-time melalui dashboard web interaktif, sehingga pengguna dapat melacak aktivitas dan performa koneksi mereka.
6. Akses Temporer, Ngrok dirancang untuk memberikan akses sementara, yang sangat cocok untuk pengujian aplikasi tanpa memerlukan komitmen terhadap server hosting permanen.

## **2.15. Sublime Text**



Gambar 2.15 Logo Sublime Text  
(Sumber : <https://www.sublimetext.com/>)

Sublime Text adalah editor teks yang ringan dan serbaguna, ideal untuk menulis dan mengedit kode PHP dalam pengembangan aplikasi web. Dengan dukungan bawaan untuk sintaks PHP, Sublime Text membantu pengembang menulis kode dengan lebih mudah melalui fitur seperti syntax highlighting, autocompletion, dan multi-cursor editing. File PHP, yang memiliki ekstensi .php, digunakan untuk membuat halaman web dinamis dengan menjalankan logika server-side dan mengintegrasikan data dari database seperti MySQL. Kombinasi antara Sublime Text dan PHP memungkinkan pengembang bekerja lebih produktif dalam menciptakan aplikasi web yang efisien dan responsif.

## 2.16. Arduino IDE



Gambar 2. 16 Arduino IDE

(Sumber: dokumentasi pribadi).

Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah aplikasi untuk membuat code yang akan digunakan untuk mengontrol board ESP 32. Arduino IDE sendiri merupakan aplikasi Yang memiliki sifat open source, dengan demikian dapat diunduh oleh siapa saja tanpa dikenakan biaya. Arduino IDE tidak hanya berguna untuk membuat code yang akan diupload ke board ESP 32, akan tetapi ada fitur tambahan di aplikasi yang mendukung penggunaan board ESP 32, contohnya serial monitor dengan fitur ini dapat dilakukan monitoring data serial board ESP 32.

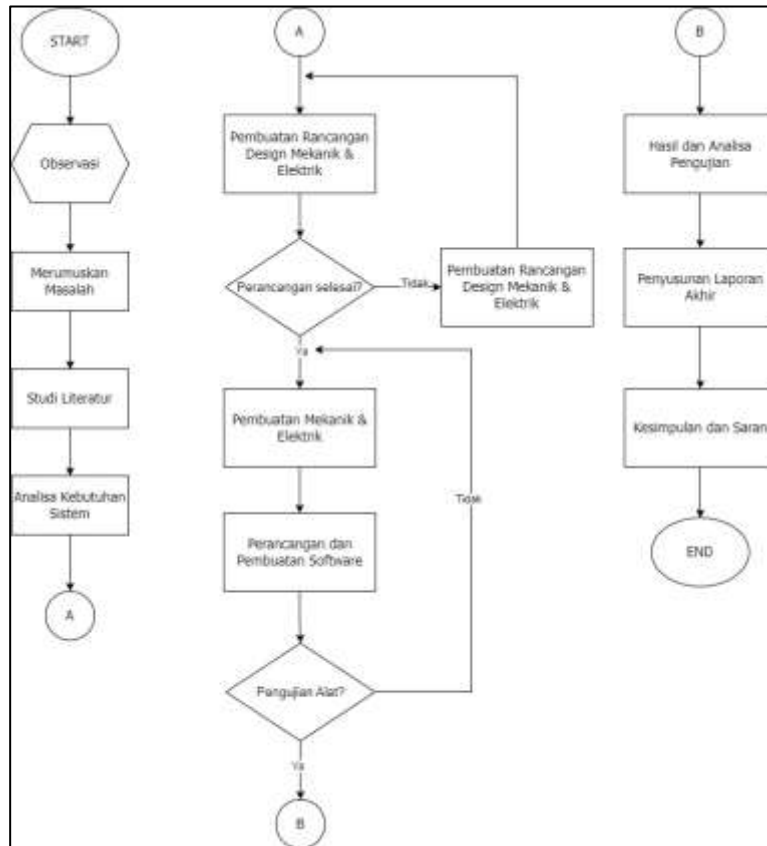


## BAB 3

### METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1 Alur Penelitian

Secara sistematis rincian perancangan alur kerja penelitian yang tergambar dengan jelas melalui diagram *flowchart* pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Flowchart Kerangka Kegiatan Ilmiah  
(Sumber : Penulis)

Adapun Deskripsi Alur Perancangan Alat sebagai berikut:

1. Mulai, mempersiapkan segala kebutuhan penelitian.
2. Rumusan masalah, mengidentifikasi permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian.
3. Studi literatur, mencari jurnal, artikel, ataupun buku yang berhubungan dengan perancangan alat. Analisa kebutuhan, merancang kebutuhan komponen yang akan digunakan dalam alat.
4. Pembuatan tugas akhir, menjelaskan rancangan, latar belakang, dan tujuan pembuatan alat.

5. Pembuatan rancangan mekanik dan elektrik. Membuat sebuah rancangan mulai dari desain alat, daftar komponen yang dibutuhkan, rancangan wiring dan layout desain mikroprosesor.
6. Perakitan hardware, merakit sensor, mikrokontroler, dan aktuator pada mekanik.
7. Hasil dan pengujian alat, proses pengujian setiap fungsi pada alat yang telah dirakit
8. Pengecekan apakah berjalan sesuai tanpa ada kendala? Jika terdapat kendala maka melakukan perbaikan, dan pengecekan sampai alat bekerja dengan normal. Setelah proses ini maka didapatkan hasil yaitu alat berjalan sesuai fungsi atau tidak atau tidak.
9. Analisa, melakukan pengamatan atau pemeriksaan kepada data yang didapat dari alat yang telah dibuat.
10. Pengerjaan laporan, merangkai hasil pengujian dan mencatat hasil dan juga menganalisa alat yang selesai pengujiannya kedalam laporan akhir.
11. Kesimpulan serta saran, yaitu *output* dari seluruh penelitian yang telah diteliti serta saran untuk kemajuan alat dan pengembangan alat kedepannya.
12. Selesai.

### **3.2 Identifikasi Masalah, Penetapan Tujuan, dan Rumusan Masalah**

Dalam melakukan pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis melakukan langkah-langkah untuk mengidentifikasi masalah yang terjadi pada pengolahan air kembali dengan menggunakan sistem Krofta. Sistem Krofta yang digunakan dalam proses pengolahan air masih memiliki keterbatasan dalam hal pemantauan parameter penting seperti suhu, pH, dan Total Suspended Solids (TSS). Saat ini, pemantauan parameter-parameter tersebut dilakukan secara manual, di mana operator harus secara berkala mengambil sampel air untuk diuji menggunakan alat laboratorium atau perangkat terpisah. Proses manual ini memakan banyak waktu dan memiliki risiko lain yaitu terhadap perubahan parameter yang dideteksi sehingga penentuan kebutuhan chemical pada proses flokulasi terhambat. Kebutuhan chemical ini menyangkut besar nilai aliran fennopol sebagai agen flokulan dan juga metode manual tidak memungkinkan pemantauan secara real-time.

Pada saat proses berjalan, parameter kualitas air seperti suhu, Total Suspended Solids (TSS), dan pH pada Krofta sangat diperhatikan untuk menjaga keberlangsungan proses agar hasil pemisahan antara koloid dan air dapat terpisah secara baik. Koloid yang telah mengumpal akan naik ke permukaan air yang akan di kumpulkan oleh scrapper. Oleh karena permasalahan tersebut, peneliti mengambil tugas akhir dengan judul “Sistem Kontrol dan Monitoring Air Pada Sistem Krofta dengan Metode *Fuzzy* di PT. X”. Sistem kontrol dan monitoring menggunakan metode *Fuzzy* sugeno. Dengan metode ini, dapat memonitor kualitas air dan juga mengontrol laju aliran flokula sehingga penggunaannya tepat guna dan efisien.

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, penetapan tujuan dari hasil rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah membuat alat terkait proses daur ulang air yang berkaitan dengan kontrol dan monitoring otomatis menggunakan metode yang telah ditentukan. Dengan demikian, tujuan yang diambil dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah dapat memonitor secara real-time dan mengontrol aliran secara baik dan memberikan hasil yang akurat.

### **3.3 Analisis Kebutuhan Sistem**

Dalam analisis kebutuhan sistem merupakan langkah untuk menganalisis semua kebutuhan komponen yang diperlukan pada Tugas Akhir ini, berikut diantaranya:

#### **➤ Hardware**

1. ESP32 DA-WROOM digunakan sebagai controller dari semua proses yang ada pada sistem dan sebagai modul komunikasi sistem.
2. Catu daya/Power supply berguna untuk mengonversi tegangan AC 220V jadi tegangan DC 12V serta menggunakan tegangan 220V untuk booster pump.
3. Sensor DS18B20 sebagai alat untuk mendeteksi suhu air di sistem Krofta.
4. Sensor Sensor Turbidity SEN024 sebagai alat untuk mendeteksi tingkat kekeruhan TSS pada air di sistem krofta.
5. Sensor pH air PH-4502C sebagai alat untuk mengukur pH air di sistem krofta.

6. LCD 20x4 with I2C sebagai alat untuk menampilkan nilai pembacaan parameter-parameter pengukuran air di sitem Krofta.
7. AC Dimmer 220V PWM Module zero crossing Detector sebagai driver motor untuk mengatur laju aliran menggunakan PWM.
8. Booster pump 90 watt 1 phasa yaitu berfungsi memompa larutan flokulan ke dalam bak Krofta di sistem Krofta.

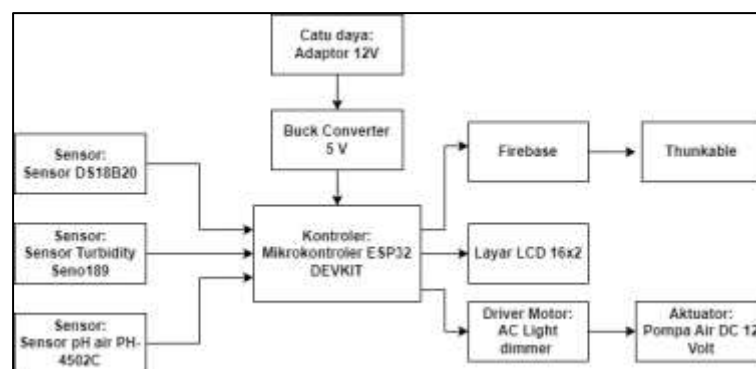
➤ *Software*

1. MySQL sebagai *platform* untuk menyimpan, mengelola, dan mengambil data secara real-time.
2. Arduino IDE digunakan untuk pemrograman sistem.
3. Sublime Text sebagai aplikasi untuk interface dari sistem yang menampilkan parameter-parameter yang diukur.
4. Ngrok sebagai aplikasi berbasis internet sebagai Tunneling sistem lokal agar dapat diakses secara publik menggunakan url terenkripsi.

### 3.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan setelah mengetahui dan mempelajari kebutuhan sistem, kemudian dilakukan perancangan keseluruhan alat yang telah direncanakan untuk menghasilkan alat sesuai dengan kebutuhan

#### 3.4.1. Diagram Konsep Sistem



Gambar 3.2 Diagram Konsep Penelitian  
(Sumber : Penulis)

Dari gambar konsep penelitian, di atas dapat dijelaskan bahwa rancangan dari sistem ini menggunakan :

1. Catu daya

Catu daya/Power supply berguna untuk mengonversi tegangan AC 220V jadi tegangan DC 12V. Selain menggunakan catu daya, menggunakan tegangan VAC 220 Volt sebagai sumber tegangan booster pump 90 watt 1 phasa.

2. Sensor DS18B20

Sensor ini berfungsi sebagai pendeteksi suhu air dari proses daur ulang air yang nanti akan masuk mikrokontroler ESP32 DA-WROOM berupa data analog.

3. Sensor Turbidity SEN024

Sensor ini berfungsi sebagai pendeteksi tingkat kekeruhan air yaitu berupa Total Solid Suspended (TSS) yang terkandung pada proses daur ulang air yang nanti akan masuk mikrokontroler ESP32 DA-WROOM berupa data analog dan sebagai *input* parameter utama untuk mengontrol debit pompa air.

4. Sensor pH air PH-4502C

Sensor ini berfungsi sebagai pendeteksi pH air dari rentang 0 hingga 14 dari proses daur ulang air yang nanti akan masuk mikrokontroler ESP32 DA-WROOM berupa data analog.

5. Mikrokontroler ESP32 DA-WROOM

ESP 32 digunakan sebagai kontroler utama yang akan memproses semua nilai dari *input*. Selain itu, ESP32 juga digunakan sebagai *human interface* untuk memonitor dan memberikan perintah pemutusan batrai apabila sudah penuh.

6. LCD 20x4 with I2C

LCD pada alat ini berfungsi untuk menampilkan *output* berupa hasil pembacaan sensor yaitu ada kekeruhan (TSS), pH, dan suhu air.

7. MySQL dan Ngrok

*Software* ini akan secara realtime mendapatkan data yang didapat dari pembacaan sensor dan menampilkan data sensor melalui url serta menampilkan PWM (Pulse Width Modulation)

8. AC Dimmer 220V PWM Module zero crossing Detector

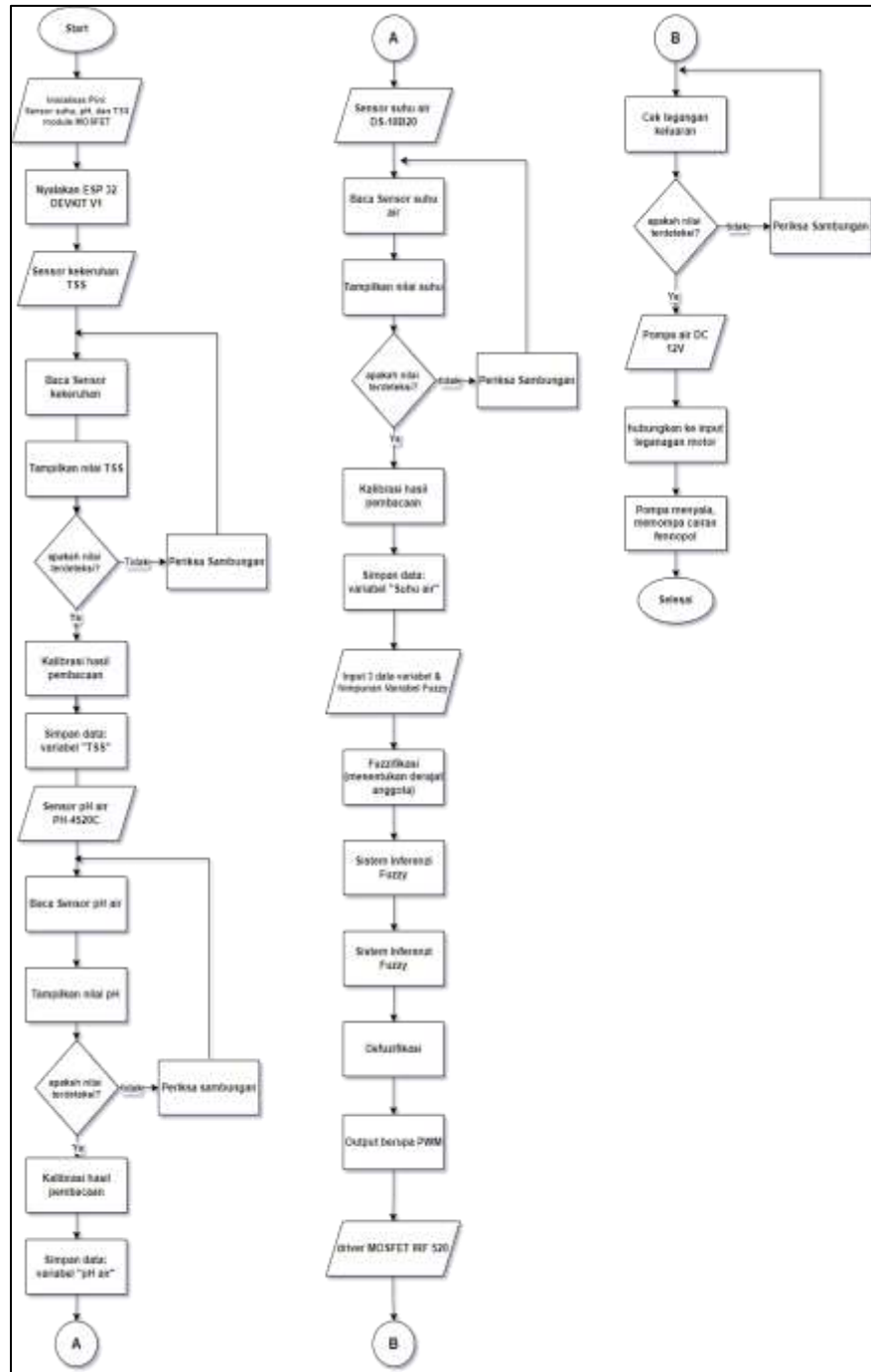
Driver ini berfungsi seperti saklar yang akan menyalakan pompa air dan dapat mengontrol kecepatan pemutaran dari pompa menggunakan mekanisme PSM (Pulse skip Modulation) yang diatur oleh dimmer rangkaian zero crossing yang sudah *built in* pada modul dan module mendapatkan *input* sinyal ( PWM (Pulse Width Modulation) yang berasal dari Mikrontroler

9. Booster pump 90 watt 1 phasa

Pompa akan berfungsi memompa larutan kimia untuk proses flokulasi ke dalam sistem krofta yaitu pada white water tank agar terjadi proses penggumpalan koloid dalam air serta debit alirannya dapat diatur lewat module AC Light dimmer.

#### 3.4.2. Flowchart Kerja Sistem

Flowchart kerja sistem adalah gambaran visual dari langkah-langkah atau proses-proses yang termasuk dalam sistem, menggunakan simbol grafis untuk menunjukkan urutan tugas, aktivitas, keputusan, dan aliran data. Flowchart menawarkan gambaran visual yang jelas tentang bagaimana informasi atau *output* diproses melalui serangkaian langkah-langkah dalam sistem atau program. Sebagai alat komunikasi efektif, *flowchart* membantu memahami secara visual operasi sistem dan menyajikan pandangan terstruktur terhadap proses yang terlibat, berguna dalam pengembangan, analisis, dan pemahaman sistem secara keseluruhan. Berikut adalah *flowchart* kerja sistem pada penelitian tugas akhir :



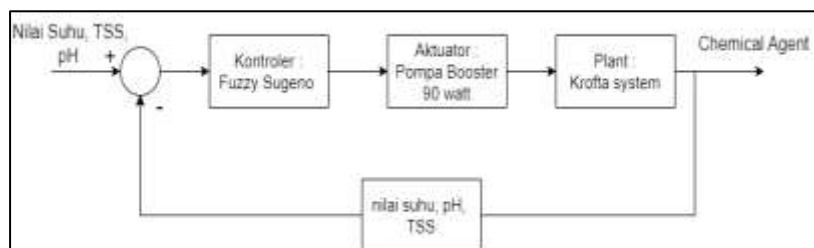
Gambar 3.3 Flowchart sistem  
(Sumber : Penulis)

Dari gambar Flowchart di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memulai, yaitu pengalamatan anantara pin *input* mikrontroler dengan sensor suhu, sensor pH, dan sensor tingkat kekeruhan (TSS), layar LCD, modul mosfet.

2. Melakukan pengujian terhadap sensor kekeruhan (TSS). Bila nilai tidak muncul pastikan sambungan dengan baik. Apabila sudah muncul nilai maka lakukan kalibrasi. Setelah sensor di kalibrasi nilai akan disimpan dengan namavariabel parameter “TSS”.
3. Melakukan pengujian terhadap sensor pH air. Bila nilai tidak muncul pastikan sambungan dengan baik. Apabila sudah muncul nilai maka lakukan kalibrasi. Setelah sensor di kalibrasi nilai akan disimpan dengan namavariabel parameter “pH Air”.
4. Melakukan pengujian terhadap sensor suhu air. Bila nilai tidak muncul pastikan sambungan dengan baik. Apabila sudah muncul nilai maka lakukan kalibrasi. Setelah sensor di kalibrasi nilai akan disimpan dengan namavariabel parameter “Suhu Air”.
5. Data variabel paramter yang diukur akan menjadi variabel data *input* himpunan *Fuzzy*. Metode *Fuzzy* dimulai dengan menentukan derajat keanggotan setiap himpunan. Setelah itu terdapat sistem inferensi *Fuzzy* yakni metode yang menginterpretasikan nilai-nilai dalam vektor *input* dan, berdasarkan beberapa set aturan, menetapkan nilai-nilai pada vektor *output*. Defuzzifikasi merupakan himpunan *Fuzzy* dari hasil komposisi rule *Fuzzy* yang keluaran nilai nya yaitu “PWM”.
6. PWM akan menjadi iputan module TRIAC dan *output*nya merupakan sinyal PWM yang akan diukur tegangannya. Bila nilai belum terdeteksi cek sambungan *input* dari mikrontroler ke module TRIAC.
7. PWM akan mengatur Pompa air yaitu kecepatan aliran air. Pompa akan memompa fennopol yaitu *chemical agent* yang digunakan menuju sistem krofta.

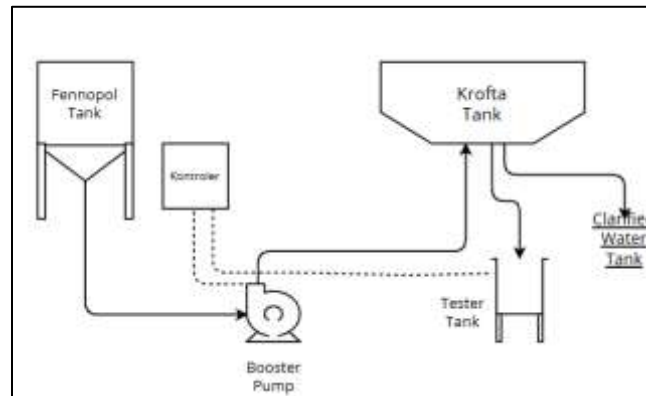
### 3.5 Perancangan dan Pembuatan Mekanik dan Elektrik



Gambar 3.4 Diagram close loop  
(Sumber : Penulis)

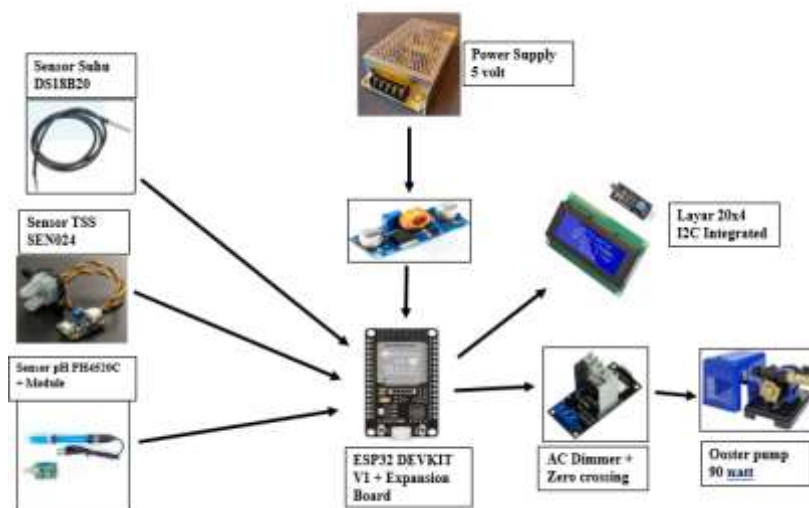


Perancangan Mekanik didasarkan pada diagram close loop di atas. Perancangan mekanik untuk penempatan sensor suhu, pH dan tingkat kekeruhan (TSS) akan diinstalasi melalui tank sampel yang sudah tersedia dan bersumber dari tanki Krofta. Aktuator yang digunakan yaitu booster pump akan memompa chemical agent menuju sistem krofta pada tank White water.

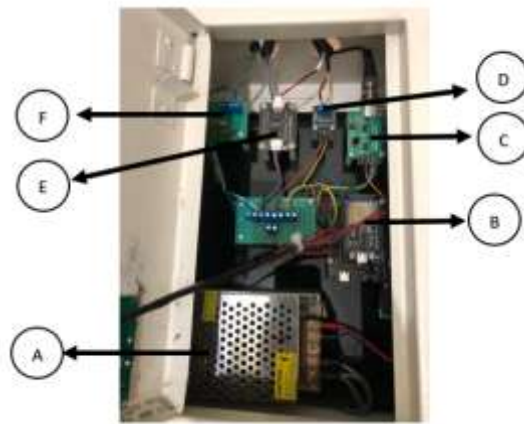


Gambar 3.5 Plant sistem Krofta  
(Sumber : Penulis)

Selain itu perancangan mekanik untuk kontroler dalam pengerjaan alat ini menggunakan box panel listrik dengan ukuran panjang 12 cm, lebar 17, dan tinggi 20 cm dimana di dalam box akan berisi:



Gambar 3.6 Perancangan Hardware  
(Sumber : Penulis)



Gambar 3.7 Perancangan Mekanik 1  
(Sumber : Penulis)

Keterangan :

- A. Power Supply 12 Volt
- B. ESP 32 DA-WROOM module + Expansion Board 30 pin
- C. Module sensor pH PH4520C
- D. Sensor suhu DS18B20
- E. Sensor Turbidity DFRobot SEN024
- F. Driver AC Dimmer Zero Crossing



Gambar 3.8 Perancangan Mekanik 2  
(Sumber : Penulis)

### 3.6 Perancangan dan Pembuatan *Software*

#### 3.6.1. Perancangan *Software* MySQL

Penggunaan MySQL sebagai sistem data Cloud yang dapat menyimpan hasil pembacaan parameter suhu, pH, dan tingkat kekeruhan air (TSS). Menggunakan aplikasi HeidiSQL untuk merancang dan mengelola basis data MySQL. HeidiSQL dipilih karena kemudahan antarmukanya yang mendukung proses pembuatan tabel, relasi, serta pengaturan data secara efisien. Data dari sistem dikirim ke server melalui metode GET

menggunakan file PHP yang dirancang khusus untuk menerima parameter dari perangkat client. Dengan pendekatan ini, integrasi antara perangkat keras dan basis data menjadi lebih mudah



Gambar 3.9 Pengaturan Tabel pada Database MySQL  
(Sumber : Penulis)

### 3.6.2. Perancangan program menggunakan Sublime Text

Merancang program PHP di Sublime Text dimulai dengan menginstal editor dan menambahkan plugin seperti PHP Formatter untuk membantu penulisan kode. Pastikan file disimpan dengan ekstensi *.php* dan server lokal seperti XAMPP atau MAMP diaktifkan untuk menjalankan skrip PHP. Program yang ditulis dirancang dengan menggunakan metode GET. Data *.php* bertindak sebagai server lokal akan menerima melalui URL data local dalam format key-value-pairs atau pasangan kunci nilai. File *.php* yang menerima data dari program arduino menggunakan variabel superglobal `$_GET` yang secara otomatis menangkap parameter yang dikirim melalui URL. Server PHP akan menyimpannya ke database local MySQL. Pada penulisan program ini terbagi menjadi 6 file berjenis *.PHP* yang diantaranya sebagai berikut:

#### 1. Program utama

File ini berisi kode awal yang mencakup struktur utama program, seperti pengaturan koneksi ke database, konfigurasi server, atau antarmuka pengguna sederhana. Fungsinya adalah menjadi fondasi atau kerangka kerja untuk aplikasi PHP yang akan dikembangkan lebih lanjut. Program interkoneksi antara esp32 dengan localdata (XAMPP). Pada program ini menggunakan kerangka dari Bootstrap 4.0, yang dimana framework front-end yang mudah dalam pengaturan antarmuka web responsif dan modern. Framework ini menyediakan komponen

HTML, CSS, dan JavaScript siap pakai seperti grid system, tombol, kartu, dan navigasi, yang semuanya dirancang agar tampil baik di berbagai perangkat. Dengan fitur seperti flexbox untuk tata letak yang fleksibel dan tema default yang estetik, Bootstrap 4.0 menjadi alat yang sangat populer untuk mempercepat desain web. Berikut merupakan bentuk penulisan program (.html)

```
<!doctype html>
<html lang="en">
  <head>
    <!-- Required meta tags -->
    <meta charset="utf-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width,
initial-scale=1, shrink-to-fit=no">

    <!-- Bootstrap CSS -->
    <link rel="stylesheet"
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.0.0/dist/css/b
ootstrap.min.css" integrity="sha384-
Gn5384xqQ1aoWXA+058RXPxPg6fy4IWvTNh0E263XmFcJlSAwiGgFAW/dAiS6
JXm" crossorigin="anonymous">

    <title>Multi Sensor ESP32</title>

    <script type="text/javascript" src="jquery/jquery.min.js"
> </script>
    <!--realtime -->
    <script type="text/javascript">
      $(document).ready( function() {

        setInterval( function() {
          $("#ceksuhu").load('ceksuhu.php');
          $("#cekpH").load('cekpH.php');
          $("#cekTSS").load('cekTSS.php');
          $("#cekPWM").load('cekPWM.php');
          updateDateTime();
        },1000 );
      } );

      function updateDateTime() {
        const now = new Date();
        const options = { weekday: 'long', year: 'numeric',
month: 'long', day: 'numeric' };
        const date = now.toLocaleDateString('en-US',
options);
        const time = now.toLocaleTimeString('en-US');
        document.getElementById('currentDate').innerHTML =
date;
        document.getElementById('currentTime').innerHTML =
time;
      }
    </script>
  </head>
  <body>
    <!-- Required background -->
```

```

</head>
<body>
  <!-- Required background -->
  <style>
    body {
      background-image: url('images/Screenshot 2024-
12-29 162544.png'); /* Path gambar */
      background-size: cover;
      background-position: center;
      background-repeat: no-repeat;
      background-attachment: fixed;
    }
  </style>
  <!-- Required background akhir -->

  <!--gambar -->
  <div cclass="container" style="display: flex;
justify-content: center; align-items: center;
margin-top: 50px">
    
  </div>
  <!-- akhir gambar -->

  <div class="container" style="text-align:
center; margin-top: 25px">
    <h2>Sistem Kontrol dan Monitoring Air Pada
Sistem Krofta dengan <br> Metode Fuzzy di PT. X</h2>

    <div style="display: flex;">
      <!--suhu -->
      <div class="card text-center" style="width:
25%">
        <div class="card-header" style="font-size:
20px; font-weight: bold; background-color: yellow">
          Suhu
        </div>
        <div class="card-body">
          <h1> <span id="ceksuhu" style="font-size:
30px"> 0 </span></h1>
        </div>
      </div>
      <!-- Akhr suhu -->

      <!--pH -->
      <div class="card text-center" style="width:
25%">
        <div class="card-header" style="font-size:
20px; font-weight: bold; background-color: blue;
color: white">
          pH
        </div>
        <div class="card-body">
          <h1><span id="cekpH" style="font-size:
30px"> 0 </span></h1>
        </div>
      </div>
      <!-- Akhr pH -->

```

```

        <!--TSS -->
        <div class="card text-center" style="width:
25%">
            <div class="card-header" style="font-size:
20px; font-weight: bold; background-color:
red; color: white">
                TSS
            </div>
            <div class="card-body">
                <h1><span id="cekTSS" style="font-size:
30px"> 0 </span> </h1>
            </div>
        </div>
        <!-- Akhr TSS -->

        <!--PWM -->
        <div class="card text-center" style="width:
25%">
            <div class="card-header" style="font-size:
20px; font-weight: bold; background-color:
green; color: white">
                PWM
            </div>
            <div class="card-body">
                <h1><span id="cekPWM" style="font-size:
30px"> 0 </span> </h1>
            </div>
        </div>
        <!-- Akhr PWM -->
    </div>

    <!-- Tanggal dan Waktu -->
    <div class="container text-center mt-3">
        <h5 id="currentDate" style="color: white;
text-shadow: 2px 2px 4px black;">Loading
date...</h5>
        <h6 id="currentTime" style="color: white;
text-shadow: 10px 10px 14px black;">Loading
time...</h6>
    </div>
    <!-- Akhir Tanggal dan Waktu -->
    <!-- Abstrak -->
    <div class="container" style="margin-top: 30px;
background-color: white; padding: 20px; border-
radius: 10px; box-shadow: 0px 4px 8px rgba(0, 0, 0,
0.2);text-align: center;">
        <h3>ABSTRAK</h3>
        <p>
            <strong>Sistem Kontrol dan Monitoring Air
Pada Sistem Krofta dengan Metode Fuzzy di PT.
X</strong><br>
            <em>Yury Novian Ramadani</em>
        </p>
        <p style="text-align: justify;">
            Krofta merupakan teknologi pemurnian air
yang banyak digunakan dalam industri khususnya
industri pembuatan kertas dan tissue.
            Parameter air seperti TSS, pH, dan suhu

```

Parameter air seperti TSS, pH, dan suhu perlu dijaga agar tetap berada dalam rentang optimal untuk memastikan efisiensi sistem dan menjaga hasil yang berkualitas.

Dalam penelitian ini, metode kontrol berbasis logika fuzzy diterapkan pada parameter *input*, yang sulit dikendalikan dengan metode konvensional.

Sistem fuzzy yang dikembangkan menggunakan sistem fuzzy Sugeno dengan tiga *input* utama: TSS, pH, dan suhu, yang diproses untuk menghasilkan tindakan kontrol untuk pompa bahan chemical yang sesuai untuk menjaga kualitas air.

Data dari sensor TSS, pH, dan suhu diproses secara real-time oleh kontroler fuzzy, yang kemudian memberikan sinyal kontrol untuk mengoptimalkan proses pemurnian air.

Besar harapan dengan penelitian ini dapat secara efektif mengontrol dan memonitor parameter-parameter tersebut dalam menjaga stabilitas kualitas air pada sistem Krofta.

Implementasi sistem ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap pemantauan kualitas air, membantu pihak perusahaan khususnya dalam bagian Produksi serta bagian QC untuk memonitor kualitas air dan lebih adaptif terhadap perubahan kondisi operasional.

</p>

<p><strong>Kata kunci:</strong> Sistem Krofta, Total Suspended Solid (TSS), pH, Suhu Air, Logika Fuzzy</p>

</div>

<!-- Akhir Abstrak -->

<script

src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/popper.js@1.12.9/dist/umd/popper.min.js" integrity="sha384-ApNbgh9B+Y1QKtv3Rn7W3mgPxhU9K/ScQsAP7hUibX39j7fakFPskvXusvfa0b4Q" crossorigin="anonymous"></script>

<script

src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.0.0/dist/js/bootstrap.min.js" integrity="sha384-JZR6Spejh4U02d8jOt6vLEHfe/JQGiRRSQQxSfFWpilMquVdAjyUar5+76PVCmY1" crossorigin="anonymous"></script>

</body>

</html>

## 2. Program monitoring sensor dan aktuator

File untuk mendapatkan nilai sensor: File ini berfungsi untuk membaca data sensor (seperti suhu, pH, atau TSS) dan mengirimkannya ke klien atau sistem lain, biasanya dalam format yang mudah diakses seperti JSON atau langsung menampilkan data untuk digunakan oleh program lain dalam sistem monitoring. Berikut program untuk memonitor sensor dan aktuator (.php):

➤ Parameter suhu

```
<?php
//konesikdtabse
$konek = mysqli_connect("localhost",
"root", "", "dbmultisensor");

//baca
$sql = mysqli_query($konek, "select *
from tb_sensor order by id desc");

//
$data = mysqli_fetch_array($sql);
$suhu = $data['suhu'];

//uji
if($suhu == "") $suhu = 0;

echo "$suhu";

?>
```

➤ Parameter pH

```
<?php
//konesikdtabse
$konek = mysqli_connect("localhost",
"root", "", "dbmultisensor");

//baca pH
$sql = mysqli_query($konek, "select *
from tb_sensor order by id desc");

//
$data = mysqli_fetch_array($sql);
$pH = $data['pH'];

//uji apakah data berhasil kirim
if($pH == "") $pH = 0;

echo "$pH";

?>
```



➤ Parameter TSS

```
<?php
//konesikdtabse
$konek = mysqli_connect("localhost",
"root", "", "dbmultisensor");

//baca TSS
$sql = mysqli_query($konek, "select *
from tb_sensor order by id desc");

//
$data = mysqli_fetch_array($sql);
$TSS = $data['TSS'];

//uji apakah data berhasil kirim
if($TSS == "") $TSS = 0;

echo "$TSS";

?>
```

➤ Parameter PWM

```
<?php
//konesikdtabse
$konek = mysqli_connect("localhost",
"root", "", "dbmultisensor");

//baca PWM booster pump driver
$sql = mysqli_query($konek, "select *
from tb_sensor order by id desc");

//
$data = mysqli_fetch_array($sql);
$ PWM = $data['PWM'];

//uji apakah data berhasil kirim
if($PWM == "") $ PWM = 0;

echo "$PWM";

?>
```

3. Program koneksi data

Program ini mengirimkan data melalui URL dengan parameter yang dapat dilihat di address bar. Fungsinya adalah mengirim informasi sederhana (seperti query atau filter) dari klien ke server untuk diproses. Dengan pemrograman ini memungkinkan data terhubung antara *web interface* dengan data pada MySQL.

```

<?php
//koneksi database
//konesikdtabse
$konek = mysqli_connect("localhost",
"root", "", "dbmultisensor");

//baca data
$suhu = $_GET['suhu'];
$pH = $_GET['pH'];
$TSS = $_GET['TSS'];
$PWM = $_GET['PWM'];

//simpan ke DB

//autoincrement = 1
mysqli_query($konek, "ALTER TABLE
tb_sensor AUTO_INCREMENT=1");
//SIMPAN BUAT UJI
$simpan = mysqli_query($konek,
"insert into tb_sensor(suhu, pH, TSS,
PWM) values ('$suhu', '$pH', '$TSS',
'$PWM')");

//uji simoannya berhasil gak
if($simpan)
    echo "Berhasil Kirim";
else
    echo "Gagal Kirim";

```

### 3.6.3. Perancangan interface pada web

Sistem interface menggunakan web yang akan menampilkan data parameter yang diuji secara realtime dengan cara menghubungkan program Arduino dengan realtime database serta menggunakan web hosting ngrok.com untuk dapat mempublikasikan.

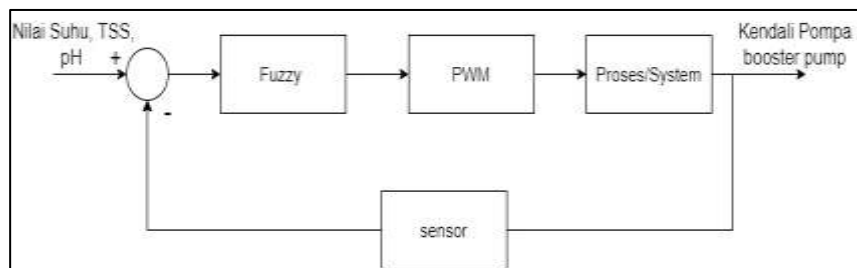


Gambar 3.10 Rancangan interface layar  
(Sumber : Penulis)

Adapaun kerangan-keterangan dari komponen dalam screen thinkable di atas adalah sebagai berikut :

1. Logo : Logo Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Judul : Judul Tugas Akhir
3. Nilai suhu : Untuk menampilkan nilai suhu Air
4. Nilai pH : Untuk menampilkan nilai pH air
5. Nilai TSS : Untuk Menampilkan tingkat kekeruhan (TSS)
6. Nilai PWM : untuk mengetahui nilai PWM (Pulse Width Modulation)

### 3.7. Perancangan Metode *Fuzzy Logic*



Gambar 3.11 Perancangan *Software*  
(Sumber : Penulis)

Pada proses Kontroler menggunakan Metode *Fuzzy Logic*, dimana sistem cerdas ini merupakan suatu program yang dapat memodelkan sistem berpikir manusia (variabel numerik) yang diterapkan sesuai bahasa mesin (variabel linguistik) agar dapat mengontrol *output* yang digunakan. Pada pengukuran 3 parameter dan 1 aktuator menggunakan Metode *Fuzzy logic* Sugeno Berikut merupakan perancangan menggunakan metode *Fuzzy logic* Sugeno :

#### 1. Variable *Fuzzy*

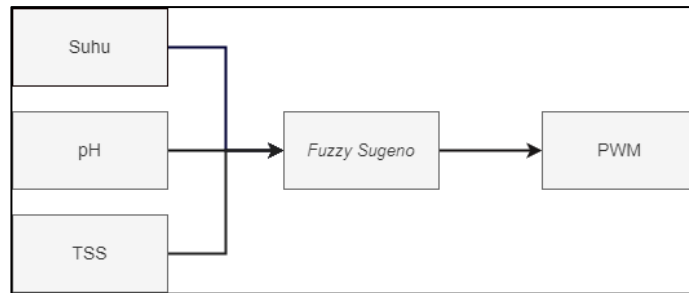
Sistem pengujian kualitas air dirancang menggunakan 3 variabel *input* dan 1 variabel *output*, yaitu variabel Suhu, pH, TSS, serta *output* yang berupa nilai PWM.

#### 2. Nilai Linguistik

Setelah menentukan keempat variabel, masing-masing variabel diberikan nilai linguistik sebagai berikut:

- a. Variabel Suhu memiliki 3 kategori *input*: Rendah, Normal, dan Tinggi.
- b. Variabel pH memiliki 3 kategori *input*: Asam, Netral, dan Basa.
- c. Variabel TSS memiliki 3 kategori *input*: Kecil, Sedang, Tinggi.

- d. Variabel PWM memiliki 3 kategori *output*: Pelan, Normal, Tinggi.
3. Pembentukan Himpunan *Fuzzy* (Fuzifikasi)
- Fuzzyfikasi* adalah proses mengubah nilai tegas (*crisp value*) menjadi *Fuzzy set* dan menentukan derajat keanggotaan dalam *Fuzzy set* tersebut. Secara umum, pemetaan proses ini dapat digambarkan seperti ilustrasi gambar 3.12 berikut:



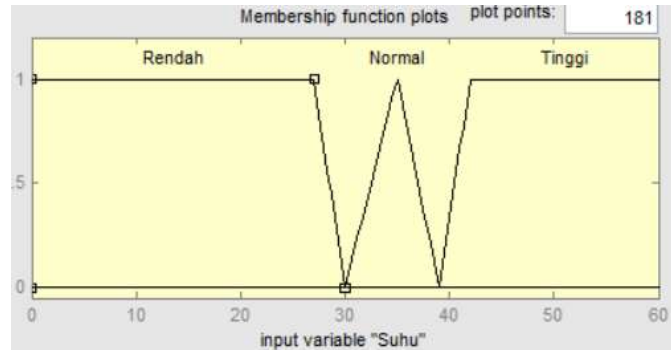
Gambar 3.12 Diagram, *Input*, proses, dan *output*  
(Sumber : Penulis)

Pada proses ini variabel data *input* serta variabel *output* akan diubah jadi himpunan *Fuzzy*. Penentuan ini diambil dari acuan nilai Stock preparation pada perusahaan. Dalam penentuan setiap nilai linguistik kategori setiap parameter yang akan dipakai dapat dilihat di tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Variabel Linguistik dan Kategori Setiap Parameter

No	Parameter	Satuan	Kriteria	
1	Suhu Air	°C	<30	Rendah
			30-39	Normal
			>39	Tinggi
2	pH air		<6,3	Rendah
			6,3-8,2	Normal
			>8,2	Tinggi
3	TSS (Total Suspended Solids)	PPM	<30	Rendah
			30-65	Normal
			>65	Tinggi
4	PWM	%	30	Rendah
		<i>duty</i>	60	Normal
		<i>cycle</i>	80	Tinggi

- Variabel Suhu mempunyai range nilai antara minimal 0 dan maksimal 60. Variabel suhu dibagi menjadi tiga *input* dengan masing – masing dengan nilai range sebagai berikut:



Gambar 3.13 *Membership Function Variabel Suhu*  
(Sumber : Penulis)

Perhitungan untuk tiga variabel menghasilkan tiga jenis fungsi yang berbeda, yaitu fungsi trapesium di sisi kiri dan kanan, serta fungsi segitiga di bagian tengah. Berikut adalah perhitungan untuk ketiga fungsi tersebut.

Kurva trapesium sebelah kiri : Rendah

$$\mu|_{\text{Rendah}} = \begin{cases} 0 & ; x \geq 30 \\ \frac{30 - x}{30 - 27} & ; 27 < x < 30 \\ 1 & ; x \leq 27 \end{cases}$$

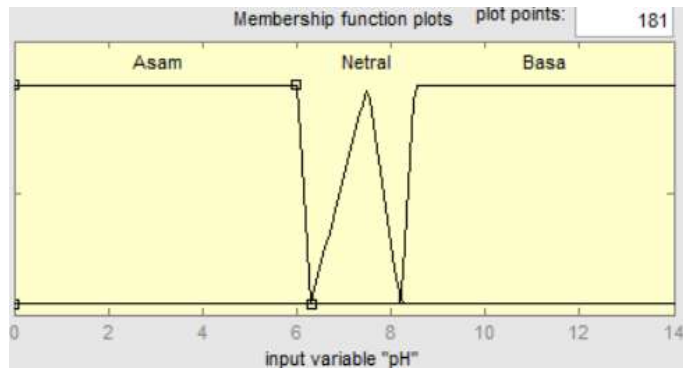
Kurva tSegitiga bagia tengah : Normal

$$\mu|_{\text{Normal}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 30 \text{ atau } x \geq 39 \\ \frac{x - 30}{35 - 30} & ; 30 < x < 35 \\ \frac{39 - x}{39 - 35} & ; 35 < x < 39 \end{cases}$$

Kurva trapesium sebelah kanan : Tinggi

$$\mu|_{\text{tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 39 \\ \frac{x - 39}{42 - 39} & ; 39 < x < 42 \\ 1 & ; x \geq 42 \end{cases}$$

- Variabel pH mempunyai range nilai antara minimal 0 dan maksimal 14. Variabel pH dibagi menjadi tiga *input* dengan masing – masing dengan nilai range sebagai berikut:



Gambar 3.14 *Membership Function* Variabel pH  
(Sumber : Penulis)

Perhitungan untuk tiga variabel menghasilkan tiga jenis fungsi yang berbeda, yaitu fungsi trapesium di sisi kiri dan kanan, serta fungsi segitiga di bagian tengah. Berikut adalah perhitungan untuk ketiga fungsi tersebut.

Kurva trapesium sebelah kiri : Asam

$$\mu|Asam| = \begin{cases} 0 ; x \geq 6,3 \\ \frac{6,3 - x}{6,3 - 6} ; 6 < x < 6,3 \\ 1 ; x \leq 6 \end{cases}$$

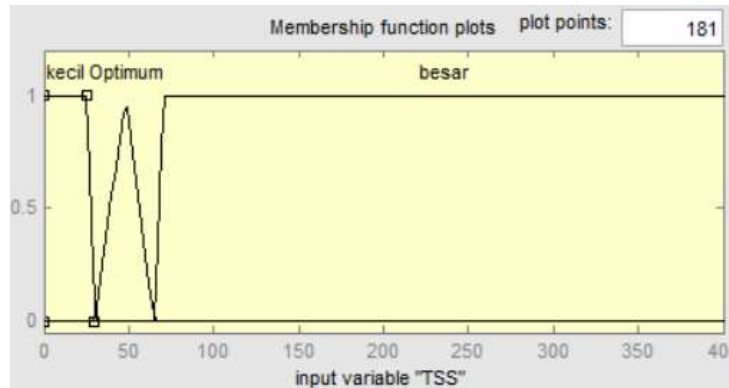
Kurva tSegitiga bagia tengah : Netral

$$\mu|Netral| = \begin{cases} 0 ; x \leq 6,3 \text{ atau } x \geq 8,2 \\ \frac{x - 6,3}{7,5 - 6,3} ; 6,3 < x < 7,5 \\ \frac{8,2 - x}{8,2 - 7,5} ; 7,5 < x < 8,2 \end{cases}$$

Kurva trapesium sebelah kanan : Basa

$$\mu|Basa| = \begin{cases} 0 ; x \leq 8,2 \\ \frac{x - 8,2}{8,5 - 8,2} ; 8,2 < x < 8,5 \\ 1 ; x \geq 8,5 \end{cases}$$

- Variabel TSS mempunyai range nilai antara minimal 0 dan maksimal 400. Variabel TSS dibagi menjadi tiga *input* dengan masing – masing dengan nilai range sebagai berikut:



Gambar 3.15 *Membership Function* Variabel TSS  
(Sumber : Penulis)

Perhitungan untuk tiga variabel menghasilkan tiga jenis fungsi yang berbeda, yaitu fungsi trapesium di sisi kiri dan kanan, serta fungsi segitiga di bagian tengah. Berikut adalah perhitungan untuk ketiga fungsi tersebut.

Kurva trapesium sebelah kiri : Kecil

$$\mu|Kecil| = \begin{cases} 0 ; x \geq 30 \\ \frac{30 - x}{30 - 25} ; 25 < x < 30 \\ 1 ; x \leq 25 \end{cases}$$

Kurva tSegitiga bagia tengah : Optimum

$$\mu|Optimum| = \begin{cases} 0 ; x \leq 30 \text{ atau } x \geq 65 \\ \frac{x - 30}{48 - 30} ; 30 < x < 48 \\ \frac{65 - x}{65 - 48} ; 48 < x < 65 \end{cases}$$

Kurva trapesium sebelah kanan : Besar

$$\mu|Besar| = \begin{cases} 0 ; x \leq 65 \\ \frac{x - 65}{70 - 65} ; 65 < x < 70 \\ 1 ; x \geq 70 \end{cases}$$

- Variabel PWM terbagi menjadi 3 *output* yaitu pelan, sedang dan kencang dengan masing – masing dengan nilai sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tabel Nilai *Output*

Nilai Liguistik	Nilai <i>Output</i>
Pelan	30
Sedang	60
Kencang	80

#### 4. Aturan/Rule base fungsi Implikasi (Inferensi *Fuzzy*)

Proses berikutnya yaitu dengan menentukan rule *Fuzzy*. Rules dibuat untuk menyajikan hubungan antara variabel *input* dan variabel *output*. Operator yang dipakai untuk menyajikan hubungan 3 variabel *input* yaitu operator AND, serta pemetaan antar variabel *output* adalah IF-THEN. Terdapat 3 variabel dan masing-masing variabel mempunyai jumlah 3 himpunan *Fuzzy* saja, maka aturan yang dibuat sebanyak :

$$3^3 = 27 \text{ aturan}$$

Berikut merupakan aturan-aturan yang digunakan pada metode *Fuzzy* logic Sugeno:

Tabel 3.3 Rule Base fungsi Implikasi

No	Variabel			
	<i>Input</i>			<i>Output</i>
	Suhu	pH	TSS	PWM
1	Rendah	Asam	Kecil	Pelan
2	Rendah	Asam	Optimal	Pelan
3	Rendah	Asam	Besar	Pelan
4	Rendah	Netral	Kecil	Pelan
5	Rendah	Netral	Optimal	Sedang
6	Rendah	Netral	Besar	Kencang
7	Rendah	Basa	Kecil	Sedang
8	Rendah	Basa	Optimal	Sedang
9	Rendah	Basa	Besar	Pelan
10	Normal	Asam	Kecil	Sedang
11	Normal	Asam	Optimal	Pelan
12	Normal	Asam	Besar	Sedang
13	Normal	Netral	Kecil	Kencang
14	Normal	Netral	Optimal	Pelan
15	Normal	Netral	Besar	Kencang
16	Normal	Basa	Kecil	Sedang
17	Normal	Basa	Optimal	Sedang
18	Normal	Basa	Besar	Pelan
19	Tinggi	Asam	Kecil	Sedang
20	Tinggi	Asam	Optimal	Sedang
21	Tinggi	Asam	Besar	Pelan



22	Tinggi	Netral	Kecil	Sedang
23	Tinggi	Netral	Optimal	Sedang
24	Tinggi	Netral	Besar	Kencang
25	Tinggi	Basa	Kecil	Sedang
26	Tinggi	Basa	Optimal	Pelan
27	Tinggi	Basa	Besar	Pelan

Jika dinyatakan dalam aturan IF-THEN atau JIKA-MAKA, maka aturan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Jika (suhu adalah rendah) dan (pH adalah Asam) dan (*TSS adalah kecil*) maka (*PWM adalah pelan*).
2. Jika (suhu adalah rendah) dan (pH adalah Asam) dan (*TSS adalah Optimal*) maka (*PWM adalah pelan*)
3. Jika (suhu adalah rendah) dan (pH adalah Asam) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM adalah pelan*)
4. Jika (suhu adalah rendah) dan (pH adalah Netral) dan (*TSS adalah kecil*) maka (*PWM adalah pelan*)
5. Jika (suhu adalah rendah) dan (pH adalah Netral) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM adalah Sedang*)
6. Jika (suhu adalah rendah) dan (pH adalah Netral) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM adalah Kencang*)
7. Jika (suhu adalah rendah) dan (pH adalah Basa) dan (*TSS adalah kecil*) maka (*PWM adalah Sedang*).
8. Jika (*suhu adalah rendah*) dan (pH adalah Basa) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM adalah Sedang*).
9. Jika (*suhu adalah Rendah*) dan (pH adalah Basa) dan (*TSS adalah Besar*) maka *PWM adalah Pelan*).
10. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (pH adalah Asam) dan (*TSS adalah*

*kecil*) maka (*PWM* adalah Sedang).

11. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM* adalah Pelan).
12. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM* adalah Sedang).
13. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah kecil*) maka (*PWM* adalah Kencang).
14. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM* adalah Pelan).
15. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM* adalah Kencang).
16. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Basa*) dan (*TSS adalah kecil*) maka (*PWM* adalah Sedang).
17. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Basa*) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM* adalah Sedang).
18. Jika (*suhu adalah Normal*) dan (*pH adalah Basa*) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM* adalah Pelan).
19. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah kecil*) maka (*PWM* adalah Sedang).
20. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM* adalah Sedang).
21. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Asam*) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM* adalah Pelan).
22. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Netral*) dan (*TSS adalah*

*Kecil*) maka (*PWM* adalah Sedang).

23. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Netral*) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM* adalah Sedang).

24. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Netral*) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM* adalah Kencang).

25. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Basa*) dan (*TSS adalah kecil*) maka (*PWM* adalah Sedang).

26. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Basa*) dan (*TSS adalah Optimum*) maka (*PWM* adalah Pelan).

27. Jika (*suhu adalah Tinggi*) dan (*pH adalah Basa*) dan (*TSS adalah Besar*) maka (*PWM* adalah Pelan).

#### 5. Komposisi Aturan

Metode Sugeno memakai fungsi Min. Bila menggunakan logika *Fuzzy* Sugeno maka analisis logika yang digunakan adalah fungsi implikasi minimum.

#### 6. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan himpunan *Fuzzy* dari hasil komposisi rule *Fuzzy*. Sementara itu, hasil *output* yang dikeluarkan adalah suatu nilangan numerik pada domain himpunan *Fuzzy* itu sendiri. menggunakan logika *Fuzzy* Sugeno maka defuzzifikasi yang digunakan adalah metode rata-rata (*Weight Average*).

### 3.8. Percobaan perhitungan Sistematis dan Simulasi Matlab

Pada percobaan ini menggunakan model perhitungan matematis. Bagian ini bertujuan untuk memvalidasi model sistem yang dihitung secara matematis menggunakan perangkat lunak MATLAB. Simulasi dilakukan dengan parameter tertentu untuk menganalisis respons sistem terhadap berbagai skenario dan membandingkannya dengan data eksperimental.

Diberikan data percobaan, apabila diketahui *suhu* memiliki nilai 32, *pH* memiliki nilai 7, dan TSS memiliki nilai 33 maka langkah selanjutnya untuk *output Fuzzy sugeno* adalah :

### 1. Fuzifikasi Suhu

Perhitungan *Fuzzyfikasi* variabel suhu dengan nilai 32

$$\mu_{suhu \text{ Rendah}} [32] = 0 ; suhu \geq 40$$

$$\mu_{suhu \text{ Normal}} [32] = \frac{32 - 30}{35 - 30} = 0,4 ; 30 < suhu < 35$$

$$\mu_{suhu \text{ Tinggi}} [32] = 0 ; suhu \leq 40$$

Perolehan perhitungan diatas dapat disimpulkan masing masing derajat

keanggotaan tiap nilai linguistik yaitu :

- $\mu_{Rendah} [32] = 0.$
- $\mu_{Normal} [32] = 0.4.$
- $\mu_{Tinggi} [32] = 0.$

### 2. Fuzzyfikasi pH

Perhitungan *Fuzzyfikasi* variabel pH dengan nilai 7

$$\mu_{pH \text{ Asam}} [7] = 0 ; pH \geq 6,5$$

$$\mu_{pH \text{ Netral}} [7] = \frac{7 - 6,3}{7,5 - 6,3} = 0,583 ; 6,3 < pH < 7,5$$

$$\mu_{pH \text{ Basa}} [7] = 0 ; pH \leq 8$$

Perolehan perhitungan diatas dapat disimpulkan masing masing derajat

keanggotaan tiap nilai linguistik yaitu :

- $\mu_{Asam} [7] = 0.$
- $\mu_{Netral} [7] = 0,583$
- $\mu_{Basa} [7] = 0.$

### 3. Fuzzyfikasi TSS

Perhitungan *Fuzzyfikasi* variabel TSS dengan nilai 33

$$\mu_{TSS \text{ Kecil}} [33] = 0 ; TSS < 30$$

$$\mu_{TSS \text{ Optimum}} [33] = \frac{33 - 30}{48 - 30} = 0,167 ; 30 < TSS < 48$$

$$\mu_{TSS \text{ Besar}} [33] = 0 ; TSS \leq 65$$

Perolehan perhitungan diatas dapat disimpulkan masing masing derajat keanggotaan tiap nilai linguistik yaitu :

- $\mu_{\text{Kecil}} [33] = 0.$
- $\mu_{\text{Optimum}} [33] = 0,167.$
- $\mu_{\text{Besar}} [33] = 0.$

#### 4. Implikasi

Pada tahap ini, setiap variabel akan dibandingkan berdasarkan aturan *Fuzzy* yang telah ditetapkan. Dalam metode *Fuzzy* Sugeno, perbandingan dilakukan menggunakan fungsi minimum.

Tabel 3.4 Percobaan Implikasi

No	Input			Niali MIN
	Suhu	pH	TSS	
1.	0	0	0	0
2.	0	0	0,167	0
3.	0	0	0	0
4.	0	0.583	0	0
5.	0	0.583	0,167	0
6.	0	0.583	0	0
7.	0	0	0	0
8.	0	0	0,167	0
9.	0	0	0	0
10.	0.4	0	0	0
11.	0.4	0	0,167	0
12.	0.4	0	0	0

13.	0.4	0.583	0	0
14.	0.4	0.583	0,167	0,167
15.	0.4	0.583	0	0
16.	0.4	0	0	0
17.	0.4	0	0,167	0
18.	0.4	0	0	0
19.	0	0	0	0
20.	0	0	0,167	0
21.	0	0	0	0
22.	0	0.583	0	0
23.	0	0.583	0,167	0
24.	0	0.583	0	0
25.	0	0	0	0
26.	0	0	0,167	0
27.	0	0	0	0

## 5. Defuzzyfikasi

Langkah berikutnya adalah menentukan variabel linguistik PWM, yang merupakan hasil keputusan dari setiap aturan yang telah dirumuskan. Variabel tersebut ditentukan sebagai berikut:

- Pelan memiliki nilai 30
- Sedang memiliki nilai antara 60
- Kencang memiliki nilai 80

Kemudian menggunakan rumus *weight average* :

$$PWM = \frac{\sum a_i z_i}{\sum a_i} \dots\dots\dots (3.1)$$

PWM:

$$\begin{aligned}
& ((0 \times 30) + (0 \times 30) + (0 \times 30) + (0 \times 30 + (0 \times 60) + (0 \times 80) + (0 \times 60) + (0 \times 60) + \\
& (0 \times 30) + (0 \times 60) + (0 \times 30) + (0 \times 60) + (0 \times 80) + (0,167 \times 30) + (0 \times 80) + (0 \times 60) + \\
& (0 \times 60) + (0 \times 30) + (0 \times 60) + (0 \times 60) + (0 \times 30) + (0 \times 60) + (0 \times 60) + (0 \times 80) + \\
& (0 \times 60) + (0 \times 30) + (0 \times 30)) / (0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + \\
& 0,167 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0) = 30
\end{aligned}$$

Hasil yang diperoleh adalah 30 sehingga *PWM* termasuk kategori Pelan. Hasil ini akan dibandingkan dengan Hasil perhitungan dari *Fuzzy Toolbox* Matlab dimana parameter disesuaikan dengan data percobaan dan. Berikut merupakan hasil *toolbox* MATLAB pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.16 Hasil *Toolbox Matlab*  
(Sumber : Penulis)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab 4 membahas hasil pengujian Alat dan sistem beserta analisa. Pengujian dilakukan dalam beberapa bagian seperti pengujian *hardware*, pengujian *software*, serta pengujian sistem. Langkah ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh sistem dalam Tugas Akhir ini dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan sebelumnya.

#### **4.1. Pengujian Sensor dan Aktuator**

Pada proses pengujian alat Tugas Akhir bertujuan untuk mengevaluasi tingkat ketelitian dan mendapatkan nilai persentase penyimpangan pada setiap komponen yang akan digunakan. Melalui pengujian ini, diharapkan dapat mengetahui kinerja masing-masing komponen yang digunakan. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan alat ukur standar untuk mengevaluasi keakuratan sensor dan untuk memvalidasi performa sensor yang digunakan. Dari perbandingan yang telah didapatkan kemudian akan diidentifikasi selisih hasil pengukuran sensor dengan standar yang ditetapkan. Selain itu, persentase penyimpangan yang dihitung dari perbandingan tersebut memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang seberapa akurat sensor dalam mengukur parameter yang diuji. Persentase penyimpangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.1.

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{nilai pengujian} - \text{nilai sensor}}{\text{nilai pengujian}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Berikut merupakan pengujian pada setiap komponen yang digunakan pada Tugas Akhir ini.

##### **4.1.1. Pengujian Modul sensor pH-4520C**

Tujuan Pengujian ini untuk Mengetahui apakah Modul Sensor pH air pH-4520C dapat bekerja dengan baik dan dapat menampilkan nilai pH sesuai dengan program yang telah dibuat pada Arduino IDE dengan membandingkan pembacaan nilai pH dengan alat kalibrator. Berikut merupakan alat yang dibutuhkan :

1. ESP 32 DA-WROOM Module

2. Board Expansion For ESP32 (30 pin)
3. Laptop
4. *Software* Arduino IDE
5. Modul Sensor pH + Probe pH 4520C
6. Pocket pH meter PH-W2

Pada pengujian sensor dibutuhkan alat untuk pembandingan sebagai alat kalibrasi yaitu Pocket pH meter PH-W2 merupakan alat ukur yang digunakan untuk pengukuran pH cairan. Pocket pH Meter PH-W2 memiliki tingkat efisiensi yang baik karena alat ini telah menggunakan teknologi digital dalam pengoperasiannya berikut merupakan Fitur Pocket pH Meter PH-W2 :

1. High-sensitivity Glass probe : menggunakan material kaca spesial sehingga pembacaan lebih akurat dan transmisi sinyal yang cepat.
2. HD large screen display : nilai ditampilkan pada layar yang lebih besar, lebih jelas dan intuitif, yang sesuai untuk kebutuhan pengukuran asam dan alkali di berbagai industri.
3. Menggunakan baterai LR44 : Baterai kancing digunakan untuk listrik, yang mudah diganti dan tahan lama. Kalibrasi diperlukan setelah mengganti baterai.
4. Ukurannya kecil, dengan desain klip di bagian belakang untuk memudahkan portabilitas.

Spesifikasi Termometer Digital AMTAST WT-1 :

- Model PH-W2
- Measuring Range      0.00~14.00pH
- Measuring Resolution   0.01pH

- Measuring Accuracy  $\pm 0.1\text{pH}$
- Automatic Temp. Compensation  $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$

Metode regresi linier dalam kalibrasi sensor adalah teknik statistik yang digunakan untuk membangun hubungan antara nilai yang diukur oleh sensor dan nilai referensi yang sebenarnya. Kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa *output* sensor memiliki tingkat akurasi tinggi dan dapat diandalkan. Berikut merupakan langkah-langkah dalam kalibrasi sensor menggunakan metode regresi linear:

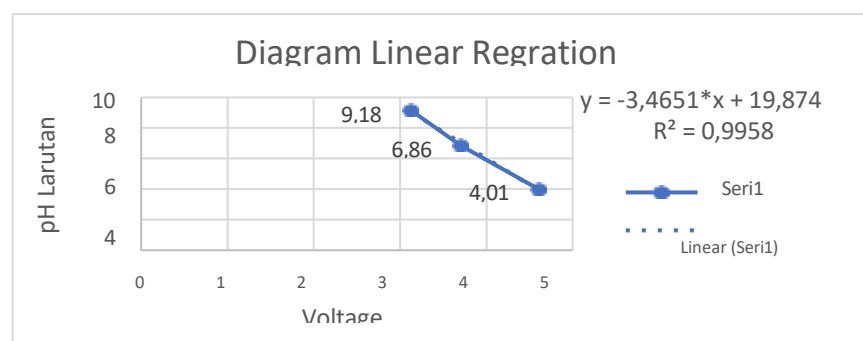
1. Pengumpulan data : dalam pengumpulan data menggunakan pH buffer powder yaitu pH 4.01, 6.86, dan 9.18. Setiap pH yang diuji probe akan menghasilkan sinyal tegangan yang masuk secara serial dan data tersebut akan dicatat berdasarkan nilai ADC yang masuk. Jumlah data ADC pada penggunaan ESP 32 dapat membaca rentang 0 – 4095 bit.

Tabel 4.1 Larutan Uji pH

pH Larutan	Voltage	Data ADC
4,01	4,6	3.767
6,86	3,7	3.030
9,18	3,12	2.555

2. Model Regresi : Model ini berbentuk:  $[ Y = a + bX ]$  di mana Y adalah nilai referensi (nilai pH), X adalah nilai yang diukur oleh sensor (Data ADC), a adalah intercept (nilai Y saat  $X = 0$ ), dan b adalah slope (kemiringan garis regresi).

Tabel 4.2 Grafik Persamaan Uji pH

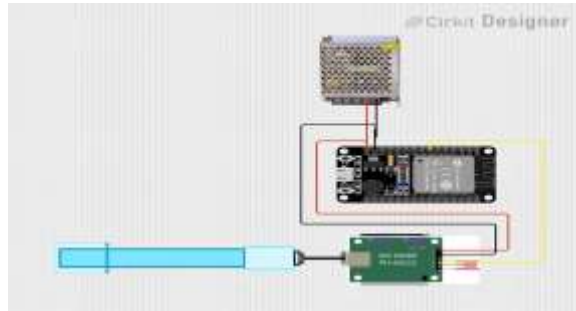


3. Kalibrasi Sensor: Setelah model regresi diperoleh, menggunakan persamaan regresi untuk mengkalibrasi *output* sensor. Persamaan akan

ditulis pada program Arduino. Sensor memberikan nilai (X), berupa tegangan dan didapatkan nilai pH (Y) menggunakan persamaan yang telah ditentukan.

Setelah itu merupakan pengujian sensor dengan cara :

1. Mempersiapkan alat, komponen, serta larutan pH yang akan digunakan.
2. Menghubungkan pin P0 ke pin 33, 5V, dan GND



Gambar 4.1 Skema Rangkaian Sensor pH-4520C

(Sumber: Data Penulis)

3. Membuat sebuah program pada Arduino IDE.

```
double voltage; float P0;
int ph_value;
// kalibrasi
pH4=4.6;
pH7= 3.70;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
}
void loop() {
  int ph_value = analogRead(33);
  voltage = ph_value*(5/4095.0);
  Serial.print("Tegangan:");
  Serial.print(voltage);

  P0 = (-3,4651*voltage) + 19,874;
  Serial.print("Nilai pH cairan: ");
  Serial.println(P0);
  delay(1000);
}
```

4. Mengupload program yang telah dibuat.
5. Menganalisa hasil pengujian.
6. Membuat larutan dengan mencampurkan pH buffer powder

dengan air 250 ml, terdapat larutan pH 4.01, 6.86, 9.18, dan larutan air lemon serta air mineral pH 8,6.

Setelah melakukan pengujian menggunakan cairan yang masing-masing berbeda pH untuk membuktikan kehandalan pembacaan sensor. Cairan memiliki 5 *set point* pH yang berbeda. Setiap pembacaan akan memiliki interval selama 2 detik dan diambil 10 kali *sample* data. Percobaan akan diurutkan dari *Setpoint* pH terendah hingga yang paling tinggi.



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian Sensor pH

(Sumber: Data Penulis)

```
1 // Arduino IDE
2 // pH Sensor
3 //
4 // Author: [Your Name]
5 //
6 // This code reads the pH value from the sensor and prints it to the Serial Monitor.
7 //
8 // Hardware:
9 // - Arduino Uno
10 // - pH Sensor
11 //
12 // Software:
13 // - Arduino IDE
14 //
15 //
16 //
17 //
18 //
19 //
20 //
21 //
22 //
23 //
24 //
25 //
26 //
27 //
28 //
29 //
30 //
31 //
32 //
33 //
34 //
35 //
36 //
37 //
38 //
39 //
40 //
41 //
42 //
43 //
44 //
45 //
46 //
47 //
48 //
49 //
50 //
51 //
52 //
53 //
54 //
55 //
56 //
57 //
58 //
59 //
60 //
61 //
62 //
63 //
64 //
65 //
66 //
67 //
68 //
69 //
70 //
71 //
72 //
73 //
74 //
75 //
76 //
77 //
78 //
79 //
80 //
81 //
82 //
83 //
84 //
85 //
86 //
87 //
88 //
89 //
90 //
91 //
92 //
93 //
94 //
95 //
96 //
97 //
98 //
99 //
100 //
101 //
102 //
103 //
104 //
105 //
106 //
107 //
108 //
109 //
110 //
111 //
112 //
113 //
114 //
115 //
116 //
117 //
118 //
119 //
120 //
121 //
122 //
123 //
124 //
125 //
126 //
127 //
128 //
129 //
130 //
131 //
132 //
133 //
134 //
135 //
136 //
137 //
138 //
139 //
140 //
141 //
142 //
143 //
144 //
145 //
146 //
147 //
148 //
149 //
150 //
151 //
152 //
153 //
154 //
155 //
156 //
157 //
158 //
159 //
160 //
161 //
162 //
163 //
164 //
165 //
166 //
167 //
168 //
169 //
170 //
171 //
172 //
173 //
174 //
175 //
176 //
177 //
178 //
179 //
180 //
181 //
182 //
183 //
184 //
185 //
186 //
187 //
188 //
189 //
190 //
191 //
192 //
193 //
194 //
195 //
196 //
197 //
198 //
199 //
200 //
201 //
202 //
203 //
204 //
205 //
206 //
207 //
208 //
209 //
210 //
211 //
212 //
213 //
214 //
215 //
216 //
217 //
218 //
219 //
220 //
221 //
222 //
223 //
224 //
225 //
226 //
227 //
228 //
229 //
230 //
231 //
232 //
233 //
234 //
235 //
236 //
237 //
238 //
239 //
240 //
241 //
242 //
243 //
244 //
245 //
246 //
247 //
248 //
249 //
250 //
251 //
252 //
253 //
254 //
255 //
256 //
257 //
258 //
259 //
260 //
261 //
262 //
263 //
264 //
265 //
266 //
267 //
268 //
269 //
270 //
271 //
272 //
273 //
274 //
275 //
276 //
277 //
278 //
279 //
280 //
281 //
282 //
283 //
284 //
285 //
286 //
287 //
288 //
289 //
290 //
291 //
292 //
293 //
294 //
295 //
296 //
297 //
298 //
299 //
300 //
301 //
302 //
303 //
304 //
305 //
306 //
307 //
308 //
309 //
310 //
311 //
312 //
313 //
314 //
315 //
316 //
317 //
318 //
319 //
320 //
321 //
322 //
323 //
324 //
325 //
326 //
327 //
328 //
329 //
330 //
331 //
332 //
333 //
334 //
335 //
336 //
337 //
338 //
339 //
340 //
341 //
342 //
343 //
344 //
345 //
346 //
347 //
348 //
349 //
350 //
351 //
352 //
353 //
354 //
355 //
356 //
357 //
358 //
359 //
360 //
361 //
362 //
363 //
364 //
365 //
366 //
367 //
368 //
369 //
370 //
371 //
372 //
373 //
374 //
375 //
376 //
377 //
378 //
379 //
380 //
381 //
382 //
383 //
384 //
385 //
386 //
387 //
388 //
389 //
390 //
391 //
392 //
393 //
394 //
395 //
396 //
397 //
398 //
399 //
400 //
401 //
402 //
403 //
404 //
405 //
406 //
407 //
408 //
409 //
410 //
411 //
412 //
413 //
414 //
415 //
416 //
417 //
418 //
419 //
420 //
421 //
422 //
423 //
424 //
425 //
426 //
427 //
428 //
429 //
430 //
431 //
432 //
433 //
434 //
435 //
436 //
437 //
438 //
439 //
440 //
441 //
442 //
443 //
444 //
445 //
446 //
447 //
448 //
449 //
450 //
451 //
452 //
453 //
454 //
455 //
456 //
457 //
458 //
459 //
460 //
461 //
462 //
463 //
464 //
465 //
466 //
467 //
468 //
469 //
470 //
471 //
472 //
473 //
474 //
475 //
476 //
477 //
478 //
479 //
480 //
481 //
482 //
483 //
484 //
485 //
486 //
487 //
488 //
489 //
490 //
491 //
492 //
493 //
494 //
495 //
496 //
497 //
498 //
499 //
500 //
501 //
502 //
503 //
504 //
505 //
506 //
507 //
508 //
509 //
510 //
511 //
512 //
513 //
514 //
515 //
516 //
517 //
518 //
519 //
520 //
521 //
522 //
523 //
524 //
525 //
526 //
527 //
528 //
529 //
530 //
531 //
532 //
533 //
534 //
535 //
536 //
537 //
538 //
539 //
540 //
541 //
542 //
543 //
544 //
545 //
546 //
547 //
548 //
549 //
550 //
551 //
552 //
553 //
554 //
555 //
556 //
557 //
558 //
559 //
560 //
561 //
562 //
563 //
564 //
565 //
566 //
567 //
568 //
569 //
570 //
571 //
572 //
573 //
574 //
575 //
576 //
577 //
578 //
579 //
580 //
581 //
582 //
583 //
584 //
585 //
586 //
587 //
588 //
589 //
590 //
591 //
592 //
593 //
594 //
595 //
596 //
597 //
598 //
599 //
600 //
601 //
602 //
603 //
604 //
605 //
606 //
607 //
608 //
609 //
610 //
611 //
612 //
613 //
614 //
615 //
616 //
617 //
618 //
619 //
620 //
621 //
622 //
623 //
624 //
625 //
626 //
627 //
628 //
629 //
630 //
631 //
632 //
633 //
634 //
635 //
636 //
637 //
638 //
639 //
640 //
641 //
642 //
643 //
644 //
645 //
646 //
647 //
648 //
649 //
650 //
651 //
652 //
653 //
654 //
655 //
656 //
657 //
658 //
659 //
660 //
661 //
662 //
663 //
664 //
665 //
666 //
667 //
668 //
669 //
670 //
671 //
672 //
673 //
674 //
675 //
676 //
677 //
678 //
679 //
680 //
681 //
682 //
683 //
684 //
685 //
686 //
687 //
688 //
689 //
690 //
691 //
692 //
693 //
694 //
695 //
696 //
697 //
698 //
699 //
700 //
701 //
702 //
703 //
704 //
705 //
706 //
707 //
708 //
709 //
710 //
711 //
712 //
713 //
714 //
715 //
716 //
717 //
718 //
719 //
720 //
721 //
722 //
723 //
724 //
725 //
726 //
727 //
728 //
729 //
730 //
731 //
732 //
733 //
734 //
735 //
736 //
737 //
738 //
739 //
740 //
741 //
742 //
743 //
744 //
745 //
746 //
747 //
748 //
749 //
750 //
751 //
752 //
753 //
754 //
755 //
756 //
757 //
758 //
759 //
760 //
761 //
762 //
763 //
764 //
765 //
766 //
767 //
768 //
769 //
770 //
771 //
772 //
773 //
774 //
775 //
776 //
777 //
778 //
779 //
780 //
781 //
782 //
783 //
784 //
785 //
786 //
787 //
788 //
789 //
790 //
791 //
792 //
793 //
794 //
795 //
796 //
797 //
798 //
799 //
800 //
801 //
802 //
803 //
804 //
805 //
806 //
807 //
808 //
809 //
810 //
811 //
812 //
813 //
814 //
815 //
816 //
817 //
818 //
819 //
820 //
821 //
822 //
823 //
824 //
825 //
826 //
827 //
828 //
829 //
830 //
831 //
832 //
833 //
834 //
835 //
836 //
837 //
838 //
839 //
840 //
841 //
842 //
843 //
844 //
845 //
846 //
847 //
848 //
849 //
850 //
851 //
852 //
853 //
854 //
855 //
856 //
857 //
858 //
859 //
860 //
861 //
862 //
863 //
864 //
865 //
866 //
867 //
868 //
869 //
870 //
871 //
872 //
873 //
874 //
875 //
876 //
877 //
878 //
879 //
880 //
881 //
882 //
883 //
884 //
885 //
886 //
887 //
888 //
889 //
890 //
891 //
892 //
893 //
894 //
895 //
896 //
897 //
898 //
899 //
900 //
901 //
902 //
903 //
904 //
905 //
906 //
907 //
908 //
909 //
910 //
911 //
912 //
913 //
914 //
915 //
916 //
917 //
918 //
919 //
920 //
921 //
922 //
923 //
924 //
925 //
926 //
927 //
928 //
929 //
930 //
931 //
932 //
933 //
934 //
935 //
936 //
937 //
938 //
939 //
940 //
941 //
942 //
943 //
944 //
945 //
946 //
947 //
948 //
949 //
950 //
951 //
952 //
953 //
954 //
955 //
956 //
957 //
958 //
959 //
960 //
961 //
962 //
963 //
964 //
965 //
966 //
967 //
968 //
969 //
970 //
971 //
972 //
973 //
974 //
975 //
976 //
977 //
978 //
979 //
980 //
981 //
982 //
983 //
984 //
985 //
986 //
987 //
988 //
989 //
990 //
991 //
992 //
993 //
994 //
995 //
996 //
997 //
998 //
999 //
1000 //
```

**Gambar 4.3** Hasil Pengujian Pada Arduino

(Sumber: Data Penulis)

- **Setpoint 1: Air larutan pH 6,88**



Gambar 4.4 Hasil Pengujian *Setpoint 1*  
(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Setpoint1

No	Iltech pH Meter Pocket PH-W2	Sensor pH- 4520C	<i>Precentage Error</i> (%)
1	6,88	7,02	2,03
2	6,88	7,01	1,89
3	6,88	7,07	2,76
4	6,88	7,15	3,92
5	6,88	7,10	3,20
6	6,88	7,07	2,76
7	6,88	6,95	1,02
8	6,88	6,95	1,02
9	6,88	6,97	1,31
10	6,88	6,97	1,31
<b>Rata-rata <i>error</i> (%)</b>			2,12

- **Setpoint 2 : Air Larutan pH 4,01**



Gambar 4.5 Hasil Pengujian *Setpoint 2*  
(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Setpoint 2*

No	Iltech pH Meter Pocket PH-W2	Sensor pH 4520C	Percentage Error (%)
1	4,01	3,79	5,49
2	4,01	3,83	4,49
3	4,01	3,89	2,99
4	4,01	4,0	0,25
5	4,01	4,24	5,74
6	4,01	4,19	4,49
7	4,01	4,09	2,00
8	4,01	4,02	0,25
9	4,01	4,16	3,74
10	4,01	3,92	2,24
Rata-rata error (%)			3,17

- **Setpoint 3 : Air larutan pH 9,19**



Gambar 4.6 Hasil Pengujian *Setpoint 3*  
(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Setpoint 3*

No	Iltech pH Meter Pocket PH-W2	Sensor pH 4520C	Percentage Error (%)
1	9,19	9,18	0,11
2	9,19	9,19	0,00
3	9,19	9,2	0,11
4	9,19	9,16	0,33
5	9,19	9,05	1,52
6	9,19	9,05	1,52
7	9,19	9,13	0,65
8	9,19	9,2	0,11
9	9,19	9,2	0,11
10	9,19	9,1	0,98
<b>Rata-rata error (%)</b>			<b>0,54</b>



- **Setpoint 4 : Air minum Pristine pH 8,76**



Gambar 4.7 Hasil Pengujian *Setpoint 4*

(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.6 Hasil Pengujian *Setpoint 4*

No	Iltech pH Meter Pocket PH-W2	Sensor pH 4520C	Percentage Error (%)
1	8,76	8,7	0,68
2	8,76	8,69	0,80
3	8,76	8,69	0,80
4	8,76	8,75	0,11
5	8,76	8,74	0,23
6	8,76	8,7	0,68
7	8,76	8,66	1,14
8	8,76	8,65	1,26
9	8,76	8,59	1,94
10	8,76	8,72	0,46
Rata-rata <i>error</i> (%)			0,81

- **Setpoint 5 : Larutan Air Lemon pH 2,33**



Gambar 4.8 Hasil Pengujian *Setpoint 5*

(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Setpoint 5*

No	Iltech pH Meter Pocket PH-W2	Sensor pH 4520C	Percentage Error (%)
1	2,33	2,55	9,44
2	2,33	2,48	6,44
3	2,33	2,55	9,44
4	2,33	2,47	6,01
5	2,33	2,4	3,00
6	2,33	2,45	5,15
7	2,33	2,38	2,15
8	2,33	2,55	9,44
9	2,33	2,56	9,87
10	2,33	2,55	9,44
<b>Rata-rata error (%)</b>			7,04

**Tabel 4.8** Hasil Pengujian Pengukuran Sensor pH-4520C dengan 5 *set point* yang berbeda

No	Setpoint	Percentage Error (%)
1	2,33	7,04
2	4,01	3,17
3	6,88	2,12
4	8,76	0,81
5	9,19	0,54
Rata-rata <i>error</i> (%)		2,736

Dari tabel data di atas perbandingan pengukuran pH larutan tersebut dapat diperoleh dengan menganalisis rata-rata presentase *error*. Dari pengujian yang telah dilakukan, Sensor pH module 4520C dapat menampilkan pH sesuai dengan program yang telah dibuat. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ada. Hal ini didukung dengan menggunakan Metode regresi linear yang mendapatkan persamaan pH larutan =  $(3,4651 \cdot \text{voltage}) + 19,874$ . Pada hasil pengujian, kalibrator menggunakan pHMeter pocket PH- W2 dan hasil pengujian sensor didapatkan rata-rata *error* 2,736 %. Pada 5 sampel larutan pH yang berbeda.

#### 4.1.2. Pengujian Modul Sensor Suhu DS18B20

Untuk mengetahui apakah Modul Sensor Suhu DS18B20 dapat bekerja dengan baik dan dapat menampilkan suhu sesuai dengan program yang telah dibuat pada Arduino IDE dengan membandingkan hasil suhu dengan alat kalibrator. Berikut merupakan alat-alat yang harus dipersiapkan :

1. ESP 32 DA-WROOM Module
2. Board Expansion For ESP32 (30 pin)
3. Laptop

4. *Software* Arduino IDE
5. Modul Sensor Suhu DS18B20
6. Termometer AMTAST WT-1

Dibutuhkan alat sebagai nilai pembanding yang valid Termometer Digital AMTAST WT-1 adalah alat yang dirancang untuk mengukur suhu suatu objek, khususnya cairan, dengan mudah. Alat ini sangat efisien karena telah dilengkapi dengan teknologi digital untuk mempermudah pengoperasian. Selain itu, termometer ini menggunakan sumber daya berupa baterai tombol DC1.5V AG13, menjadikannya lebih hemat energi dan ekonomis. Berikut merupakan fitur Termometer Digital AMTAST WT-1 :

1. Memiliki desain seperti pena, alat ini memberikan kenyamanan maksimal bagi pengguna dalam setiap pemakaiannya.
2. Terbuat dari bahan satainless steel yang tahan karat, alat ini dirancang untuk penggunaan jangka panjang.
3. Memungkinkan pengukuran secara langsung, sehingga pengguna dapat menghemat waktu tanpa perlu menunggu lama.
4. Dirancang dengan konsep super portabel, alat ini mudah dibawa ke mana saja dan praktis untuk disimpan.

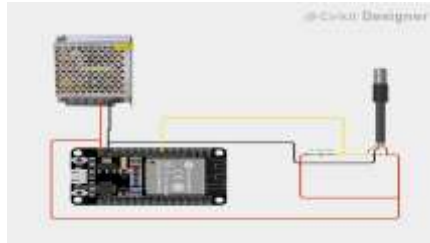
Termometer Digital AMTAST WT-1 :

- Rentang ukur:  $-50\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $(-58\text{ }^{\circ}\text{F} - 572\text{ }^{\circ}\text{F})$
- Distinguish :  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Akurasi :  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ );  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (rentang lainnya)
- Daya : Baterai tombol DC1.5V AG13

Untuk sensor Suhu DS18B20 menggunakan komunikasi data yaitu protokol *one-wire* yang tidak memerlukan konversi ADC dalam program karena sudah tersedia dalam *library* yang digunakan. Proses ini menggunakan perintah *Convert T* yang berfungsi menginstruksikan sensor DS18B20 untuk membaca suhu dari termistor internal yang mengkonversi perubahan suhu ke dalam format digital menggunakan ADC internal dengan resolusi 12 bit. Dengan library ini seluruh fungsi konversi ADC dilakukan secara otomatis.

Setelah itu merupakan pengujian sensor, berikut merupakan tahapan yang dilakukan

1. Mempersiapkan alat dan komponen yang akan digunakan.
2. Menghubungkan pin DAT ke pin 33, 5V, dan GND



Gambar 4.9 Skema Rangkaian Sensor Suhu DS18B20

(Sumber: Data Penulis)

3. Membuat sebuah program pada Arduino IDE. (Program di dalam Library)

```
OneWire ds(33); // sensor dihubungkan dengan pin 33
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  byte addr[8], data[9]; //addr: menyimpan alamat sensor
  float celsius, fahrenheit;
  // Cek apakah ada perangkat terhubung
  if (!ds.search(addr)) {
    Serial.println("Sensor tidak terdeteksi");
    ds.reset_search();
    delay(250);
    return;
  }
  // menampilkan alamat dalam bentuk ROM (8 Byte)
  format Heksadecimal.
  Serial.print("ROM = ");
  for (byte i = 0; i < 8; i++) {
    Serial.print(addr[i], HEX);
    Serial.print(" ");
  }
  Serial.println();
  // Validasi CRC
  if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7]) {
    Serial.println("CRC is not valid!");
    return;
  }
  // Deteksi jenis sensor yaitu sensor DS18B20
  byte type_s;
  switch (addr[0]) {
    case 0x10: type_s = 1; Serial.println("Chip = DS18S20"); break;
    case 0x28: type_s = 0; Serial.println("Chip = DS18B20"); break;
    default:
      Serial.println("sensor tidak termasuk DS Family");
  }
```

```

// Mulai konversi dan tunggu hasil
ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44, 1); // Mulai konversi
delay(1000); // Tunggu hasil konversi
// Baca hasil konversi
ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // Baca data suhu hasilnya disimpan
di data
for (byte i = 0; i < 9; i++) {
    data[i] = ds.read();
}
// Konversi data ke suhu
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0]; //data diubah
menjadi 16 bit
if (type_s) {
    raw = raw << 3;
    if (data[7] == 0x10) {
        raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
    }
} else {
    byte cfg = data[4] & 0x60;
    if (cfg == 0x00) raw &= ~7; // 9 bit resolution
    else if (cfg == 0x20) raw &= ~3; // 10 bit
resolution
    else if (cfg == 0x40) raw &= ~1; // 11 bit
resolution
}
celsius = (float)raw / 16.0; //konversi ke celcius
fahrenheit = celsius * 1.8 + 32.0; //celcius ke
fahrenheit
// Tampilkan suhu

```

Dari hasil Pengujian menggunakan cairan yang masing-masing berbeda suhu untuk membuktikan kehandalan pembacaan sensor. Cairan memiliki 5 *set point* suhu yang berbeda.

s



Gambar 4.10 Hasil Pengujian Sensor Suhu  
(Sumber: Data Penulis)

*Setpoint 1: Air Pada Suhu Ruang (27,2 °C)*



Gambar 4.11 Hasil Pengujian *Setpoint 1*

(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.9 Hasil Pengujian *Setpoint1*

No	AMTAST WT-1 (°C)	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	<i>Percentage Error</i> (%)
1	27,2	27,36	0,5
2	27,2	27,36	0,5
3	27,2	27,36	0,5
4	27,2	27,44	0,7
5	27,2	27,44	0,7
6	27,2	27,30	0,36
7	27,2	27,30	0,36
8	27,2	27,35	0,5
9	27,2	27,30	0,36
10	27,2	27,30	0,36
Rata-rata <i>error</i> (%)			0,48

*Setpoint 2* Air Dingin (17,2 °C)



Gambar 4.12 Hasil Pengujian *Setpoint 2*

(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.10 Hasil Pengujian *Setpoint 2*

No	AMTAST WT-1 (°C)	Senor Suhu DS18B20 (°C)	Percentage Error (%)
1	17.2	17,52	1,86
2	17.2	17,52	1,86
3	17.2	17,46	1,51
4	17.2	17,52	1,86
5	17.2	17,52	1,86
6	17.2	17,58	2,21
7	17.2	17,58	2,21
8	17.2	17,58	2,21
9	17.2	17,64	2,56
10	17.2	17,64	2,56
Rata-rata <i>error</i> (%)			2,07



*Setpoint 3 Air Es*



Gambar 4.13 Hasil Pengujian *Setpoint 3*

(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.11 Hasil Pengujian *Setpoint 3*

No	AMTAST WT-1 (°C)	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	<i>Percentage Error (%)</i>
1	3,7	3,63	1,89
2	3,7	3,63	1,89
3	3,7	3,63	1,89
4	3,7	3,52	4,86
5	3,7	3,52	4,86
6	3,7	3,52	4,86
7	3,7	3,5	5,41
8	3,7	3,48	5,95
9	3,7	3,48	5,95
10	3,7	3,41	7,84
<b>Rata-rata <i>error</i> (%)</b>			4,54

*Setpoint 4* Air Agak Mendidih (52,8 °C)



Gambar 4.14 Hasil Pengujian *Setpoint 4*

(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.12 Hasil Pengujian *Setpoint 4*

No	AMTAST WT-1(°C)	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Error (%)
1	52,8	52,69	0,21
2	52,8	52,75	0,09
3	52,8	52,75	0,09
4	52,8	52,50	0,57
5	52,8	52,50	0,57
6	52,8	52,50	0,57
7	52,8	52,44	0,68
8	52,8	52,44	0,68
9	52,8	52,38	0,80
10	52,8	52,38	0,80
Rata-rata <i>error</i> (%)			0,51

*Setpoint 5* Air mendidih



Gambar 4.15 Hasil Pengujian *Setpoint 5*

(Sumber: Penulis)

Tabel 4.13 Hasil Pengujian *Setpoint 5*

No	AMTAST WT-1(°C)	Sensor Suhu DS18B20 (°C)	Percentage Error (%)
1	80,9	82,29	1,72
2	80,9	81,81	1,12
3	80,9	81,06	0,20
4	80,9	81,06	0,20
5	80,9	80,42	0,59
6	80,9	80,42	0,59
7	80,9	79,4	1,85
8	80,9	79,8	1,36
9	80,9	79,8	1,36
10	80,9	79,2	2,10
Rata-rata <i>error</i> (%)			1,11

**Tabel 4.14** Hasil Pengujian Pengukuran Sensor Ultrasonik dengan Penggaris

No	Suhu setiap <i>Setpoint</i> (°C)	<i>Percentage Error</i> (%)
1	3,7	4,54
2	17.2	2,07
3	27,2	0,48
4	52,8	0,51
5	80.9	1.11
<b>Rata-rata <i>error</i> (%)</b>		1,742

Dari tabel data di atas perbandingan pengukuran jarak tersebut dapat diperoleh dengan menganalisis *error* yang dihitung. Setelah melakukan pengujian, didapatkan sensor suhu DS18B20 dapat menampilkan suhu sesuai dengan program yang telah dibuat. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ada. Pada hasil pengujian menggunakan termometer digital AMTAST WT-1 didapatkan rata-rata *error* 1,742 %. Adapun tegangan yang dibutuhkan sensor yaitu sebesar 5V.

#### 4.1.3. Pengujian Modul sensor TSS DFRobot SEN024

Untuk Mengetahui apakah Modul Sensor TSS DFRobot SEN024 dapat bekerja dengan baik dan dapat menampilkan nilai TSS sesuai dengan program yang telah dibuat pada Arduino IDE dengan membandingkan pembacaan nilai TSS dengan alat kalibrator. Berikut merupakan alat-alat yang digunakan:

1. ESP 32 DA-WROOM Module
2. *Board Expansion For* ESP32 (30 pin)
3. Laptop
4. *Software* Arduino IDE
5. Modul Sensor TSS DFRobot SEN024
6. Hach DR900 *Multiparameter Portable Calorimeter*

Dalam pengujian sensor dibutuhkan alat kalibrasi yaitu Hach DR900 adalah sebuah *calorimeter* portabel multiparameter yang dirancang untuk pengukuran parameter air secara cepat dan akurat. Alat ini sering digunakan dalam aplikasi lingkungan, industri, dan laboratorium untuk pengukuran kualitas air

Fitur Hach DR900 *Portable Calorimeter*:

1. Dapat melakukan 500 tes dengan 90 parameter uji kualitas air.
2. Calorimeter portabel dan tangguh tahan air dan debu cocok digunakan di lapangan atau di fasilitas laboratorium.
3. Kapasitas memori hingga 500 hasil pengujian
4. Dilengkapi dengan port USB untuk memudahkan transfer data ke komputer.
5. Dapat melakukan pengujian dalam waktu kurang dari 1 menit per parameter (tergantung pada metode).

Spesifikasi Hach DR900 *Portable Calorimeter*:

- Nilai *Data Logger* 500 pengukuran
- 90 parameter lebih dapat dideteksi.
- Mode *operating Transmittance (%)*, Absorsi
- Sistem *Optical* 0/180 deg transmittance
- *Photometric* akurasi  $\pm 0.03$  Abs

Dalam mengkalibrasi sensor menggunakan metode regresi linier dalam kalibrasi sensor adalah teknik statistik yang digunakan untuk membangun hubungan antara nilai yang diukur oleh sensor dan nilai referensi yang sebenarnya. Kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa *output* sensor memiliki tingkat akurasi tinggi dan dapat diandalkan. Berikut merupakan langkah-langkah dalam kalibrasi sensor menggunakan metode regresi linear:

1. Pengumpulan data : Pengumpulan data larutan dengan berbagai nilai TSS yang berbeda yaitu 15 ppm, 25ppm, dan 52 ppm. Dari berbagai larutan ini akan menghasilkan angka ADC yang merepresentasikan tegangan analog yang diukur sensor. Jumlah data

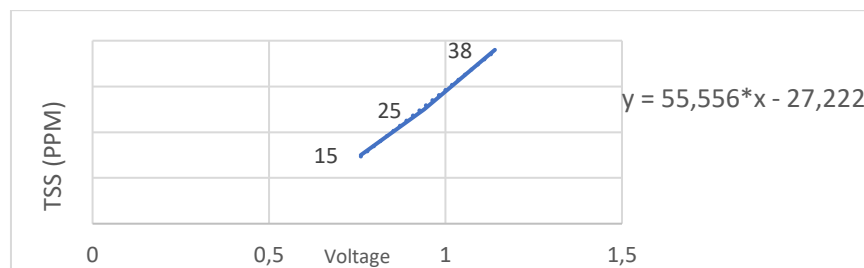
ADC pada ESP 32 dapat membaca rentang yang luas yaitu dari rentang 0 – 4095 bit. Angka ADC dari sensor tersebut diubah menjadi tegangan masuk dan didapatkan data pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.15 Hasil Regresi Linear

TSS Larutan (PPM)	Voltage	Data ADC
15	0,76	622
25	0,99	770
52	1,56	1.188

2. Model Regresi : Model ini biasanya berbentuk:  $[ Y = a + bX ]$  di mana Y adalah nilai referensi (nilai TSS), X adalah nilai yang diukur oleh sensor (Data ADC), a adalah intercept (nilai Y saat  $X = 0$ ), dan b adalah slope (kemiringan garis regresi).

Tabel 4.16 Graffik Regresi Linear

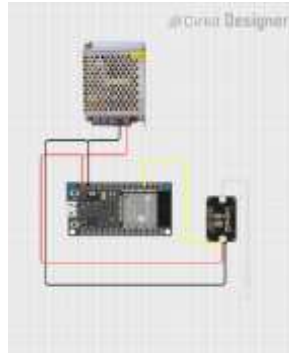


(Sumber : Penulis)

3. kalibrasi Sensor: Setelah model regresi diperoleh, menggunakan persamaan regresi untuk mengkalibrasi *output* sensor. Persamaan akan ditulis pada program Arduino. Sensor memberikan nilai (X), berupa tegangan dan didapatkan nilai TSS (Y) menggunakan persamaan yang telah ditentukan.

Setelah mendapatkan hasil, berikut merupakan langkah-langka pengujian:

1. Mempersiapkan alat, komponen, serta larutan pH yang akan digunakan.
2. Menghubungkan pin Analog ke pin 34, 5V, dan GND



Gambar 4.16 Skema Rangkaian Sensor pH-4520C

(Sumber: Data Penulis)

#### 4. Membuat sebuah program pada Arduino IDE.

```
#define SensorPin 34
#define VREF 5.0
#define ADC_RESOLUTION 4096

float temperature = 25.0
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  analogReadResolution(12); // Resolusi ADC 12-bit (0-4095)
}
void loop() {
  // Baca nilai ADC dari sensor
  int adcValue = analogRead(SensorPin);

  // Konversi nilai ADC menjadi tegangan
  float voltage = (adcValue * VREF) / ADC_RESOLUTION;

  //float tdsFactor = 500; // Konversi ke ppm
  float tssValue = (58.989*voltage - 30.102); // Kompensasi
  suhu
  // Tampilkan hasil
  Serial.print(tdsValue, 1);
  Serial.println(" ppm");
  delay(2000); // Tunggu 2 detik
}
```

#### 4. Mengupload program yang telah dibuat.

#### 5. Menganalisa hasil pengujian.

Berikut merupakan hasil pengujian menggunakan cairan yang masing-masing berbeda pH untuk membuktikan kehandalan pembacaan sensor. Cairan memiliki 3 *set point* TSS yang berbeda. Setiap pembacaan akan memiliki interval selama 2 detik dan setiap *set point* diambil 10 kali *sample* data.



Gambar 4.17 Hasil Pengujian Sensor SEN024

(Sumber: Data Penulis)

```

1 // Sensor: pH
2 int pH_value;
3 // Variabel kalibrasi
4 float gain=4.6;
5 float gain=3.70;
6 void setup() {
7   Serial.begin(115200);
8 }
9
10 void loop() {
11   int pH_value = analogRead(A0);
12   voltage = pH_value * (5/1023.0);
13   Serial.print("tegangan: ");
14   Serial.print(voltage);
15   pH = (-3.4841*voltage) + 10.8161;
16 }

```

Output Serial Monitor

Message (Click to send message to 25P3D Uno Module on COM5)

tegangan	pH	kalibrasi
3.4701161	pH	7.15
3.4701161	pH	7.17
3.4701161	pH	7.15
3.4601161	pH	7.19
3.4801161	pH	7.13
3.4801161	pH	7.15
3.4701161	pH	7.15
3.4801161	pH	7.13
3.7101161	pH	7.02
3.7201161	pH	6.99
3.7201161	pH	6.96
3.7201161	pH	6.96
3.7201161	pH	6.96
3.7201161	pH	6.99
3.7201161	pH	6.96

Gambar 4.18 Hasil Pengujian Pada Arduino

(Sumber: Data Penulis)



- **Setpoint 1: Air larutan TSS 15 PPM**



Gambar 4.19 Hasil Pengujian *Setpoint 1*  
(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.17 *Setpoint 1*

No	DR900 Calorimeter	Sensor SEN024 (mg/L)	Percentage Error (%)
1	15	15,8	5,34
2	15	15,9	6
3	15	15,4	6,00
4	15	16,1	2,67
5	15	16,2	7,33
6	15	14,9	8,00
7	15	14,3	0,67
8	15	15,1	4,67
9	15	15,4	0,67
10	15	14,8	2,67
Rata-rata error (%)			2,12

- **Setpoint 2 : Air Larutan TSS 25 PPM**



Gambar 4.20 Hasil Pengujian *Setpoint 2*

(Sumber: Data Penulis)

Tabel 4.18 *Setpoint 2*

No	DR900 Calorimeter	Sensor SEN024 (mg/L)	<i>PercentageError</i> (%)
1	25	26	4,00
2	25	26,1	4,40
3	25	27,4	9,60
4	25	24,1	3,60
5	25	24,7	1,20
6	25	25,4	1,60
7	25	24,8	0,80
8	25	27,5	10,00
9	25	25,3	1,20
10	25	26,8	7,20
<b>Rata-rata <i>error</i> (%)</b>			<b>3,17</b>

- **Setpoint 3 : Air larutan TSS 22**

Tabel 4.19 *Setpoint 1*

No	DR900 Calorimeter	Sensor SEN024	<i>Percentage Error (%)</i>
1	52	50	3,85
2	52	54,4	4,62
3	52	51	1,92
4	52	54,5	4,81
5	52	52,9	1,73
6	52	55,7	7,12
7	52	53,8	3,46
8	52	54,8	5,38
9	52	54,1	4,04
10	52	50,3	3,27
<b>Rata-rata <i>error</i> (%)</b>			4,02

Tabel 4.20 Hasil Pengujian Pengukuran Sensor SEN204 dengan 3 *set point* yang berbeda

No	Setpoint	Error (%)
1	15 PPM	3,93
2	25 PPM	4,36
3	52 PPM	4,02
<b>Rata-rata error (%)</b>		4,10

Dari tabel data di atas perbandingan pengukuran pH larutan tersebut dapat diperoleh dengan menganalisis *error*. Dari hasil pengujian Sensor TSS SEN024 DFRobot dapat menampilkan TSS sesuai dengan program yang telah dibuat. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ada. Hal ini didukung dengan menggunakan Metode regresi linear yang mendapatkan persamaan TSS larutan =  $(58.989 \cdot \text{ADCvoltage} - 30.102)$ . Pada hasil pengujian, kalibrator menggunakan DR900 Calorimeter dan hasil pengujian sensor didapatkan rata-rata *error* 4,10 %. Pada 3 sampel larutan TSS yang berbeda.

#### 4.1.4. Pengujian Power Supply 5 Volt

Tujuan pengujian untuk mengetahui apakah power supply 5 volt dapat mencatu daya sebesar 5 volt untuk kebutuhan sumber tegangan dari sistem membandingkan nilai tegangan yang dihasilkan dengan alat kalibrator yaitu multimeter. Berikut merupakan peralatan yang digunakan :

1. Power Supply 5 volt 5 Ampere.
2. Multimeter
3. Probe Positive dan Negative multimeter

Multimeter Aneng M118A adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur berbagai parameter listrik, seperti tegangan (voltage), arus (current), dan resistansi (resistance). Fitur Multimeter Aneng M118A:

1. Hanya dengan menyentuh jaringan dengan tespen, layar LED akan otomatis menampilkan hasil pengukuran hingga 1999 digit.
2. Alat ini mampu mengukur tegangan AC/DC, resistansi, diode, kapasitansi, hingga NCV. Dengan banyak fitur dalam satu alat, tak diragukan lagi alat ini akan sangat membantu.
3. ANENG MI18A digital multimeter dilengkapi dengan senter yang berada di kepala multimeter.
4. Alat ini dapat berdiri atau tegak hanya dengan menarik penyangga yang ada di belakang multimeter. Penyangga bisa ditarik hingga  $120^\circ$  dengan posisi berdiri

Multimeter ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan DC: 200mV - 600V  $\pm(0.5\%+2)$
- Tegangan AC: 200V - 600V  $\pm(1.0\%+3)$
- Arus DC: 200 $\mu$ A - 10A  $\pm(1.0\%+2)$
- Arus AC: 200 $\mu$ A - 10A  $\pm(1.5\%+2)$
- Resistansi: 200 $\Omega$  - 20M $\Omega$   $\pm(0.8\%+2)$
- Fungsi Diode: Ya (untuk menguji dioda)
- Fungsi Buzzer Kontinuitas: Ya (untuk menguji sirkuit terbuka atau terhubung)
- Display: LCD digital dengan 3 1/2 digit, tampilan maksimal 1999
- Pengukuran Frekuensi: 1Hz - 10MHz
- Pengukuran Suhu:  $-40^\circ\text{C}$  -  $1000^\circ\text{C}$  (dengan sensor thermocouple tipe

Berikut merupakan tahapan untuk proses pengujian power supply :

1. Mempersiapkan alat dan komponen yang akan digunakan.
2. Pada saat pengujian tegangan, probe merah multimeter dihubungkan ke V+ pada power supply dan probe hitam dihubungkan ke V-.
3. Pada saat pengujian arus, probe merah multimeter dihubungkan ke N atau netral pada power supply dan probe hitam dihubungkan ke L atau fasa.

4. Mendapatkan hasil dari pengujian yang dapat dilihat pada multimeter.



Gambar 4.21 Hasil Pengujian *Setpoint 2*

(Sumber : Penulis)

Power Supply digunakan sebagai *input* power pada pompa dan *input* power untuk AC Dimmer module. Dari hasil pengujian didapatkan tegangan sebesar 5,365 VDC. Hal ini menunjukkan bahwa power supply dapat bekerja dengan baik dan benar.

#### 4.1.5. Pengujian Layar LCD 20x4 I2C Integrated

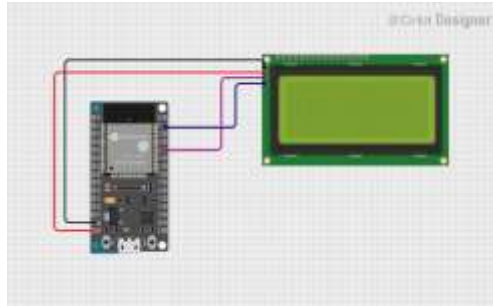
Untuk Mengetahui apakah LCD dapat bekerja dengan baik dan dapat menampilkan karakter sesuai dengan program yang telah dibuat pada Arduino IDE. Berikut merupakan alat yang dipersiapkan :

1. ESP 32 DA-WROOM V1
2. Laptop
3. *Software* Arduino IDE
4. LCD 20x4 I2C Integrated

Berikut merupakan langkah-langkah percobaan LCD :

1. Mempersiapkan alat dan komponen yang akan digunakan.

2. Menghubungkan pin SDA ke pin 21, SCL ke pin 22, 5V, dan GND.



Gambar 4.22 Skema Rangkaian LCD 20x4 I2C

(Sumber: Data Penulis)

3. Membuat sebuah Program pada Arduino IDE

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

int lcdColumns = 20;
int lcdRows = 4;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, lcdColumns,
lcdRows);

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
}

void loop() {
  // set cursor to first column, first row
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("PPNS");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("LCD 20x4 I2C");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Yury Novian");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("0923140116");
  delay(1000);
  lcd.clear();
}
```



Gambar 4.23 Hasil Pengujian Layar 20x4 I2C

(Sumber: Penulis)

LCD 20x4 dengan I2C mampu menampilkan karakter yang telah dirancang, membuktikan bahwa perangkat ini berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. LCD ini memerlukan tegangan sebesar 5V untuk beroperasi.

#### 4.1.6. Pengujian Booster pump 90 watt dengan AC Dimmer Driver

Untuk mengetahui apakah penggunaan Driver AC Dimmer dapat mengontrol booster pump dengan menggunakan metode PWM yang akan diubah menjadi PSM (*Pulse skip Modulation*) sesuai pengaturan *output*. Tegangan yang masuk pada dimmer akan dipantau menggunakan multimeter dan osiloskop. Pengujian dimmer dilakukan dengan cara memberikan masukan berupa nilai PWM dengan rentang 0 – 255 dan mengamati perubahan nilai tegangan dan bentuk sinyal dimmer. Pengujian PWM tersebut dapat dihitung melalui persamaan berikut

Diketahui.

- Tegangan Keluaran (V) : 59,85 Volt
- Tegangan Maksimal (V) : 220 Volt

Mengitung *duty cycle* dan PWM *Value* menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Duty Cycle (\%)} = \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 100 \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{PWM Value} = \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 255 \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan :

$V_{out}$  = Tegangan Keluaran (V)

$V_{max}$  = Tegangan Maksimal (V)

Berikut merupakan perhitungan dari rumus di atas.

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle (\%)} &= \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 100 \\ &= \frac{59,85}{220} \times 100 \\ &= 0,28 \times 100 = 28\% \end{aligned}$$

$$\text{PWM Value} = \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 255$$

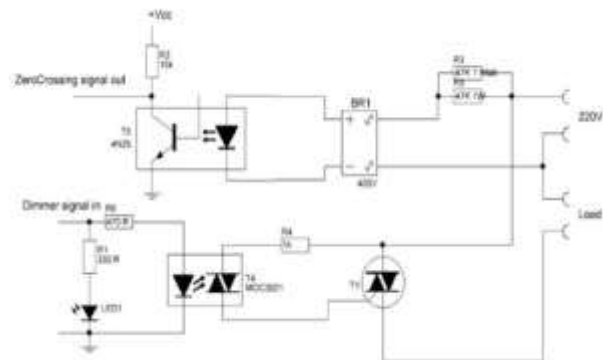


$$= \frac{59,85}{220} \times 255$$

$$= 0,28 \times 255 = 69,4$$

Berikut merupakan tahapan percobaan yang dilakukan.

1. Menghubungkan *input* booster pump dengan driver dan menghubungkan *input* Tegangan AC dari driver AC Dimmer.
2. Menghubungkan pin PWM ke pin 14, pin Zero-Crossing ke pin 27, 5V, dan GND.



Gambar 4.24 Rangkaian AC Dimmer ROBOTDyn

(Sumber: Penulis)

3. Membuat sebuah program di Arduino IDE dengan output PWM yang diatur dari serial Port.

```
#define USE_SERIAL Serial
#define outputPin 27
#define zerocross 14
dimmerLamp dimmer(outputPin, zerocross); //initialase
port for dimmer for ESP32.
Zero
int outVal = 0;
void setup() {
  USE_SERIAL.begin(9600);
  dimmer.begin(NORMAL_MODE, ON); //dimmer
  USE_SERIAL.println("Dimmer Program is starting...");
  USE_SERIAL.println("Set value");
}
void printSpace(int val)
{
  if ((val / 100) == 0) USE_SERIAL.print(" ");
  if ((val / 10) == 0) USE_SERIAL.print(" ");
}
void loop() {
  int preVal = outVal;

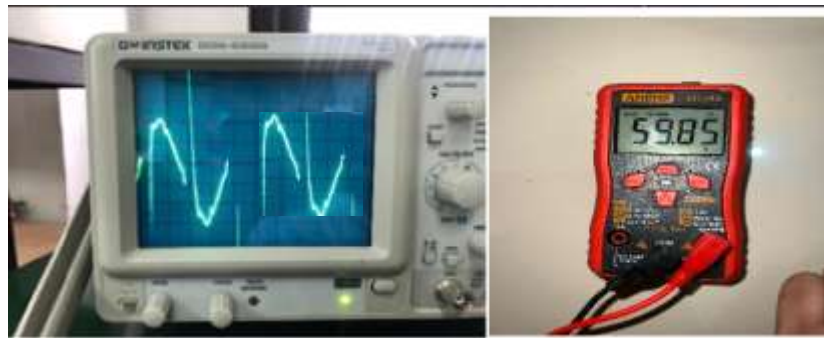
  if (USE_SERIAL.available())
  {
    int buf = USE_SERIAL.parseInt();
    if (buf != 0) outVal = buf;
    delay(200);
  }
}
```

Tabel 4.20 Hasil pengukuran perhitungan PWM

No.	Duty cycle (%)	Nilai PWM	Tegangan Keluaran (Volt)
1.	0	0	0
2.	27	69,4	59,85
3.	60	155,9	134,5
4.	80	206,55	178,2
5.	93	239,81	206,9
6.	100	250	215,6

Dari langkah-langkah yang sudah dilakukan didapatkan hasil pengujian:

- Pengujian PWM 30 %



Gambar 4.25 Percobaan 1 Driver AC Dimmer

(Sumber: Penulis)

Pada Pengujian kedua yaitu mengatur keluaran sinyal PWM sebesar 30 %. Pada Knob Volt/div diatur knob pada 2 V dan untuk Time/Div diatur knob pada 5 ms. Terlihat dalam gambar diatas bentuk gelombang berbentuk sinus (gelombang AC) namun terdapat *delay* yang dihasilkan oleh driver dimmer. Delay tersebut dapat kita hitung dan memiliki delay sebesar 1 ms. Bila dihitung secara horizontal didapatkan periode sinyal yaitu 20 ms dan frekuensi sebesar 50 Hz. Untuk perhitungan tegangan yaitu mengetahui amplitudo, pengaturan Pengujian pengaturan *output* 30%



Gambar 4.26 Percobaan 2 Driver AC Dimmer

(Sumber: Penulis)

Pada Pengujian kedua yaitu mengatur keluaran sinyal PWM sebesar 60 persen. Pada Knob Volt/div diatur knob pada 2 V dan untuk Time/Div diatur knob pada 5 ms. Terlihat dalam gambar diatas bentuk gelombang berbentuk sinus (gelombang AC) namun terdapat *delay* yang dihasilkan oleh driver dimmer. Delay tersebut dapat kita hitung dan memiliki delay sebesar 2,5 ms. Bila dihitung secara horizontal didapatkan periode sinyal yaitu 20 ms dan frekuensi sebesar 50 Hz. Untuk perhitungan tegangan yaitu mengetahui amplitudo, pengaturan osiloskop terbatas sehingga tidak bisa menampilkan sinyal secara vertikal dan ketika diukur menggunakan voltmeter didapatkan tegangan puncak adalah 134,5 Volt AC.

- Pengujian PWM 90



Gambar 4.27 Percobaan 3 Driver AC Dimmer

(Sumber: Penulis)

Pada Pengujian kedua yaitu mengatur keluaran sinyal PWM sebesar 80 persen. Pada Knob Volt/div diatur knob pada 2 V dan untuk Time/Div diatur knob pada 5 ms. Terlihat dalam gambar diatas bentuk gelombang berbentuk sinus (gelombang AC) namun terdapat *delay* yang dihasilkan oleh driver dimmer. Delay tersebut dapat kita hitung dan memiliki delay sebesar 2,5 ms. Bila dihitung secara horizontal didapatkan periode sinyal yaitu 20 ms dan frekuensi sebesar 50 Hz. Untuk perhitungan tegangan

yaitu mengetahui amplitudo, pengaturan osiloskop terbatas sehingga tidak bisa menampilkan sinyal secara vertikal dan ketika diukur menggunakan voltmeter didapatkan tegangan puncak adalah 178,5 Volt AC.

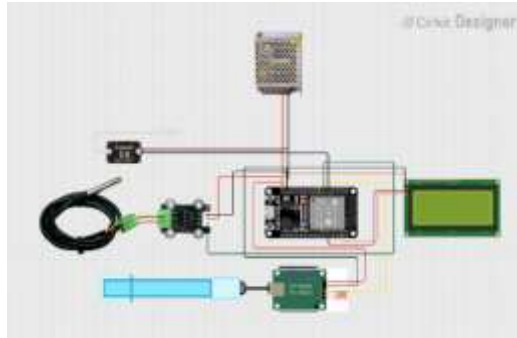
Dari Hasil percobaan menunjukkan bahwa peningkatan duty cycle PWM dari ESP32 secara langsung meningkatkan tegangan *output* pada driver dimmer AC. Pada PWM 30%, tegangan yang dihasilkan adalah 60 V, pada PWM 60%, tegangan meningkat menjadi 163,3 V, ada PWM 80%, tegangan naik lebih jauh menjadi 178,5 V. Hubungan ini menggambarkan bahwa duty cycle PWM berperan dalam mengatur waktu aktif sinyal dengan cara mengatur periode waktu *delay*, sehingga meningkatkan tegangan. Driver AC dimmer menunjukkan respons linier terhadap perubahan sinyal PWM, namun tidak proporsional sepenuhnya.

#### 4.2 Pengujian Metode *Fuzzy Logic Sugeno*

Pada bagian ini, dilakukan pengujian terhadap metode *Fuzzy Sugeno* untuk mengevaluasi kinerjanya dalam memecahkan masalah yang diteliti. Metode *Fuzzy Sugeno* digunakan untuk mengolah data *input* yang bersifat tidak pasti dan memiliki ketidakpastian, seperti data yang tidak dapat dijelaskan dengan jelas menggunakan logika biner. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data yang telah dikumpulkan dalam penelitian ini, kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh menggunakan metode konvensional atau metode lain yang relevan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *Fuzzy sugeno* dapat memberikan *output* yang lebih fleksibel dan akurat dalam menangani ketidakpastian, dengan tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan dengan pendekatan lainnya. Selain itu, pengujian ini juga menunjukkan bahwa metode *Fuzzy sugeno* dapat menghasilkan model yang lebih realistis dan mampu menangani kompleksitas data yang lebih tinggi, terutama dalam kasus dengan variabel yang saling berinteraksi satu sama lain.

Berikut merupakan Proses Pengujian, pada proses pengujian ini menggunakan sensor dan aktuator yang dihubungkan ke ESP 32 untuk memastikan Metode *Fuzzy* yang digunakan dapat dengan efektif dan presisi menentukan pembacaan dan *output* :

1. Mempersiapkan Alat dan larutan yang akan digunakan
2. Merangkai seluruh sensor, catu daya, kontroler, dan aktuator



Gambar 4.28 Rangkaian Pengujian 3 sensor dengan layar

(Sumber: Penulis)

### 3. Membuat sebuah Program pada arduino IDE

```
#include <Arduino.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define DS18B20PIN 32
OneWire oneWire(DS18B20PIN);
DallasTemperature sensor(&oneWire);

int lcdColumns = 20;
int lcdRows = 4;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, lcdColumns, lcdRows);
// Nilai PWM
int pelan = 30;    // Motor kiri pelan
int sedang = 60;   // Motor kiri sedang
int kencang = 80;  // Motor kiri kencang

// Variabel input
float suhu, pH, TSS;

// Variabel fuzzy
float rendah, normal, tinggi; //suhu
float asam, netral, basa;      //pH
float kecil, optimum, besar;

// Fungsi untuk fuzzifikasi suhu
void fuzzifikasiSuhu(float suhu) {
    if (suhu < 27) {
        rendah = 1;
        normal = 0;
        tinggi = 0;
    } else if (suhu > 27 && suhu <= 30) {
        rendah = (30 - suhu) / (30-27);
        normal = 0;
        tinggi = 0;
    } else if (suhu > 30 && suhu < 35) {
        rendah = 0;
        normal = (suhu - 30) / (35-30);
        tinggi = 0;
    } else if (suhu = 35){
        rendah = 0;
        normal = 1;
        tinggi = 0;
    } else if (suhu > 35 && suhu <= 39) {
        rendah = 0;
        normal = 0;
        tinggi = 1;
    }
    lcd.setCursor(4,1);
```

```

// Fungsi untuk fuzzifikasi pH
void fuzzifikasiPH(float pH) {
    if (pH <= 6) {
        asam = 1;
        netral = 0;
        basa = 0;
    } else if (pH > 6 && pH <= 6.3) {
        asam = (6.3 - pH) / (6.3-6.0);
        netral = 0;
        basa = 0;
    } else if (pH > 6.3 && pH < 7.5) {
        asam = 0;
        netral = (pH - 6.3) / (7.5-6.3);
        basa = 0;
    } else if (pH == 7.5) {
        asam = 0;
        netral = 1;
        basa = 0;
    } else if (pH > 7.5 && pH <= 8.2) {
        asam = 0;
        netral = (8.2 - pH) / (8.2-7.5);
        basa = 0;
    } else if (pH > 8.2 && pH <= 8.5) {
        asam = 0;
        netral = 0;
        basa = (pH - 8.2) / (8.5-8.2);
    } else if (pH > 8.5) {
        asam = 0;
        netral = 0;
        basa = 1;
    }
}

// Fungsi untuk fuzzifikasi TSS
void fuzzifikasiTSS(float TSS) {
    if (TSS <= 25) {
        kecil = 1;
        optimum = 0;
        besar = 0;
    } else if (TSS > 25 && TSS <= 30) {
        kecil = (30 - TSS) / (30-25);
        optimum = 0;
        besar = 0;
    } else if (TSS > 30 && TSS < 48) {
        kecil = 0;
        optimum = (TSS - 30) / (48-30);
        besar = 0;
    } else if (TSS == 48) {
        kecil = 0;
        optimum = 1;
        besar = 0;
    } else if (TSS > 48 && TSS <= 65) {
        kecil = 0;
        optimum = (65 - TSS) / (65-48);
        besar = 0;
    } else if (TSS > 65 && TSS <= 70) {
        kecil = 0;
    }
}

```

```

    } else if (TSS > 70) {
        kecil = 0;
        optimum = 0;
        besar = 1;
    }
}

// Fungsi untuk defuzzifikasi
float defuzzifikasi(float r[], int nilaiPWM[]) {
    float pembilang = 0;
    float penyebut = 0;

    for (int i = 0; i < 27; i++) {
        pembilang += r[i] * nilaiPWM[i];
        penyebut += r[i];
        Serial.print("Pembilang: ");
        Serial.println(pembilang);
        Serial.print("Penyebut: ");
        Serial.println(penyebut);
    }

    return penyebut > 0 ? pembilang / penyebut : 0;
}

// Fungsi setup
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    sensor.begin();
    lcd.init();
    lcd.backlight();
}

// Fungsi utama loop
void loop() {
    // Input data (dari Serial Monitor)
    sensor.requestTemperatures();
    float tempinC = sensor.getTempCByIndex(0);
    float print_suhu = (tempinC*1);
    //
    int ph_value = analogRead(34);
    double voltage = ph_value* (5/4095.0);
    float PH = (-3.4651*voltage) + 19.874;
    //
    int adcvalue=analogRead(33);
    double voltage1 = adcvalue* (5/4095.0);
    float tssValue = (55.556*voltage1 - 27.222);
    //
    suhu = print_suhu;
    pH = PH;
    TSS = tssValue;

    // Lakukan fuzzifikasi
    fuzzifikasiSuhu(suhu);
    fuzzifikasiPH(pH);
    fuzzifikasiTSS(TSS);
}

```

```

// Defuzzifikasi dengan inferensi (rule base)
float r[27] = {
    min(rendah, min(asam, kecil)),
    min(rendah, min(asam, optimum)),
    min(rendah, min(asam, besar)),
    min(rendah, min(netral, kecil)),
    min(rendah, min(netral, optimum)),
    min(rendah, min(netral, besar)),
    min(rendah, min(basa, kecil)),
    min(rendah, min(basa, optimum)),
    min(rendah, min(basa, besar)),
    min(normal, min(asam, kecil)),
    min(normal, min(asam, optimum)),
    min(normal, min(asam, besar)),
    min(normal, min(netral, kecil)),
    min(normal, min(netral, optimum)),
    min(normal, min(netral, besar)),
    min(normal, min(basa, kecil)),
    min(normal, min(basa, optimum)),
    min(normal, min(basa, besar)),
    min(tinggi, min(asam, kecil)),
    min(tinggi, min(asam, optimum)),
    min(tinggi, min(asam, besar)),
    min(tinggi, min(netral, kecil)),
    min(tinggi, min(netral, optimum)),
    min(tinggi, min(netral, besar)),
    min(tinggi, min(basa, kecil)),
    min(tinggi, min(basa, optimum)),
    min(tinggi, min(basa, besar))
};
int nilaiPWM[27] = {
    pelan, pelan, pelan, pelan, sedang, kencang, sedang,
    sedang, pelan, sedang, pelan, sedang, kencang, pelan,
    kencang, sedang, sedang, pelan, sedang, sedang, pelan,
    sedang, sedang, kencang, sedang, pelan, pelan };
float pwm = defuzzifikasi(r, nilaiPWM);
// Output hasil PWM
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Suhu=");
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print(suhu);
//
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("pH=");
lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print(pH);
//
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("TSS=");
lcd.setCursor(5, 2);
lcd.print(TSS);
//
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("PWM=");
lcd.setCursor(5, 3);
lcd.print(pwm);
delay(1000); // Tunggu 1 detik sebelum loop

```



#### 4. Mengupload Program, dan Membandingkan Hasil dengan Matlab

Didapatkan hasil pengujian yaitu :

- Pengujian 1

Pada Pengujian ini menggunakan larutan yang memiliki suhu 33,4, pH 7,45, dan TSS 33,31. Pada percobaan pertama ini nilai yang terbaca akan ditampilkan pada layar 20x4 I2C.



Gambar 4.29 Hasil Pengujian 1

(Sumber: Penulis)



Gambar 4.30 Probe sensor sebagai *Input*

(Sumber: Penulis)

Hasil dari 3 parameter yang diukur didapatkan *output* PWM yaitu 30 % atau pelan. Hasil dari program Arduino akan dibandingkan dengan Hasil perhitungan pada Matlab. Pada hasil perhitungan matlab juga ditunjukkan nilai yang sama yaitu 30 untuk PWM yang berarti program pada arduino memiliki hasil yang dapat divalidasi.



Gambar 4.31 Hasil toolbox Matlab pengujian 1

(Sumber: Penulis)

- Pengujian 2

Pada Pengujian ini menggunakan larutan yang memiliki suhu 28,5, pH 7,93, dan TSS 72,21. Pada percobaan pertama ini nilai yang terbaca akan ditampilkan pada layar 20x4 I2C seperti gambar 4.25.

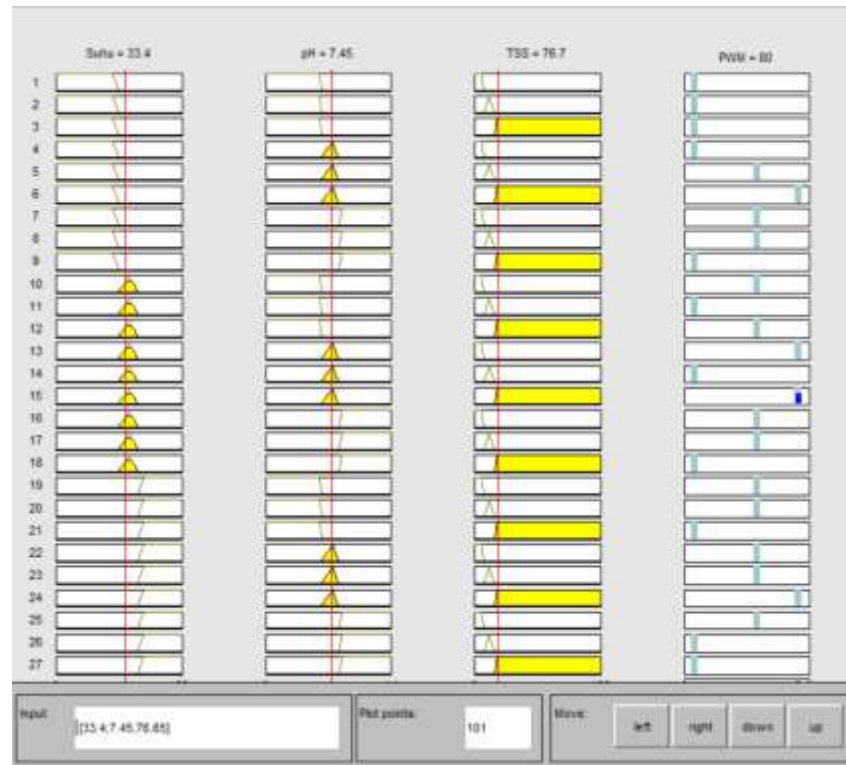


Gambar 4.32 Hasil Pengujian 2

(Sumber: Penulis)

Hasil dari 3 parameter yang diukur ditampilkan oleh layar dan didapatkan *output* PWM yaitu 80 % atau pelan. Hasil dari program Arduino

akan dibandingkan dengan Hasil perhitungan pada Matlab pada gambar 4.26. Pada hasil perhitungan matlab juga ditunjukkan nilai yang sama yaitu 80 untuk PWM yang berarti program pada arduino memiliki hasil yang dapat divalidasi.



Gambar 4.33 Hasil toolbox Matlab pengujian 2

(Sumber: Penulis)

Dari 2 percobaan diatas, dapat diketahui bahwa sistem yang dirancang dapat menentukan *output* berupa PWM berdasarkan metode *Fuzzy* yang digunakan. Dari kedua hasil juga ditampilkan sistem pembanding yaitu menggunakan Matlab *Fuzzy Toolbox*, dimana setiap nilai *input* parameter disamakan dengan hasil pembacaan sensor. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai dari program dan nilai vaidator *toolbox* memiliki hasil yang sama dan mengindikasikan bahwa sistem berhasil.

#### 4.3 Pengujian MYSQL & Web interface

Pengujian ini bertujuan untuk menguji konektivitas antara database MySQL dengan sebuah antarmuka web yang mampu menangani data secara real-time. Sistem ini dirancang untuk menyimpan dan menampilkan tiga parameter lingkungan utama, yaitu suhu, pH, dan Total Suspended Solids (TSS), serta

mencatat parameter aktuator berupa *output* PWM (*Pulse Width Modulation*). Berikut merupakan aplikasi *software* yang digunakan:

1. Ngrok.exe
2. Sublime Text
3. Arduino IDE
4. XAMPP (Apache + MySQL)
5. HeidiSQL

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan untuk menguji *software* yang digunakan, dan pastikan device yang kita gunakan terhubung dengan internet.

1. Mengupload Program pada board Arduino ESP32 dan memastikan board sudah terhubung dengan sinyal wifi.
2. Membuka aplikasi XAMPP Control Panel, lalu mengaktifkan Apache dan MySQL serta memastikan data terhubung pada tabel yang telah dibuat menggunakan HeidiSQL.
3. Membuka Sublime Text untuk membuat tampilan serta metode yang diambil untuk mendapatkan data.
4. Menggunakan Url local host untuk mengecek apakah *web interface* sudah terhubung dengan data dari MySQL
5. Membuat Tunneling menggunakan Ngrok.exe agar URL *local host* dapat diakses secara publik dan aman.

Pada Proses Pengujian data yang digunakan menggunakan nilai setiap parameter yang telah dirancang pada program Arduino. Pada program Arduino berisi SSIP dan Password yang sama dengan yang digunakan pada file HTML yang berfungsi untuk menerima data dengan menggunakan metode \$GET. Pengambilan data diambil dengan tanggal dan waktu yang berbeda dan dilakukan sebanyak 10 kali.



Gambar 4.34 Tabel pada HeidiSQL

(Sumber: Penulis)

dbmultisensor.tb\_sensor: 151 rows total (exact)

#	id	suhu	pH	TSS	PWM	datetime
1	1	28,4	7,62	25,0	30	2025-01-08 20:21:21
2	2	28,44	7,76	30,0	30	2025-01-08 22:21:26
3	3	28,42	7,78	14,0	30	2025-01-08 22:21:31
4	4	31,0	8,0	86,0	80	2025-01-08 22:21:36
5	5	32,0	7,56	56,0	60	2025-01-08 22:21:41
6	6	28,47	8,0	40,0	60	2025-01-08 22:21:46
7	7	29,0	7,71	42,0	30	2025-01-08 22:21:51
8	8	28,47	7,49	38,0	30	2025-01-08 22:21:56
9	9	30,0	7,52	27,0	30	2025-01-08 22:22:01
10	10	28,48	7,58	-27,22	30	2025-01-08 22:22:05

Gambar 4.35 Tabel hasil HeidiSQL 1

(Sumber: Penulis)

Seperti pada Gambar 4.35 data diambil pada tanggal 8 Januari 2025 pada rentang waktu yang berbeda. Rentang waktu ini merupakan delay dari program yang telah di set yaitu delay 5 detik. Pada angka PWM didapatkan yaitu pada data ke-1 hingga data ke-3 menunjukkan nilai PWM yang pelan lalu untuk data selanjutnya mengalami peningkatan kecepatan PWM karena nilai TSS yang dideteksi sesnor mengalami kenaikan.

dbmultisensor.tb\_sensor: 151 rows total (exact)

#	id	🔑	suhu	pH	TSS	PWM	datetime
109	109		28,82	7,73	78,2	80	2025-01-13 23:05:03
110	110		28,83	7,71	78,44	80	2025-01-13 23:05:11
111	111		28,83	7,77	78,24	80	2025-01-13 23:05:18
112	112		28,84	7,81	77,64	80	2025-01-13 23:05:26
113	113		28,87	8,0	77,76	80	2025-01-13 23:05:36
114	114		28,87	7,91	81,85	80	2025-01-13 23:05:44
115	115		28,87	7,83	78,39	80	2025-01-13 23:05:52
116	116		28,88	7,91	78,31	80	2025-01-13 23:05:59
117	117		28,87	7,82	78,56	80	2025-01-13 23:06:06
118	118		28,86	7,88	78,24	80	2025-01-13 23:06:14

Gambar 4.36 Tabel hasil HeidiSQL 2

(Sumber: Penulis)

Pada Gambar 4.36 data diambil pada tanggal 13 Januari 2025 pada rentang waktu yang berbeda. Rentang waktu ini merupakan delay dari program yang telah di set yaitu delay 5 detik. Pada angka PWM didapatkan yaitu pada data denagn ID 109 hingga data 118 menunjukkan nilai PWM yang kencang yaitu 80 persen karena nilai TSS yang dideteksi sensor tinggi.



Gambar 4.37 Web Interfae

(Sumber: Penulis)

Hasil dari data yang berhasil dikirim menuju tabel MySQL akan ditampilkan dalam bentuk string. Data akan ditampilkan setiap 5 detik untuk menghindari program bertumpuk. Pada *web interface* hanya bisa diakses secara local yang artinya hanya perangkat yang tersambung dengan sistem saja. *Web interface* yang ingin ditampilkan harus bisa diakses pada semua perangkat di luar sistem yaitu dengan cara tunneling menggunakan Ngrok. Tujuan utamanya adalah untuk mempublikasikan aplikasi atau layanan lokal (seperti server web) ke internet secara sementara. Untuk menggunakan Ngrok dengan localhost PHPMyAdmin, yaitu memastikan PHPMyAdmin sudah berjalan di server lokal (melalui XAMPP di port 80). Setelah itu, jalankan perintah ngrok http 80 (atau port tempat PHPMyAdmin) di terminal. Ngrok akan memberikan URL publik, misalnya <https://abc123.ngrok.io>, yang dapat digunakan untuk mengakses PHPMyAdmin otomatis dan *real time*.

```

ngrok
+ - Recipe traffic by anything | https://ngrok.com/s/ky
Session Status      online
Account             yury.novlan@gmail.com (Plan: Free)
Update              update available (version 3.19.1, Ctrl-U to update)
Version              3.19.0
Region              Asia Pacific (ap)
Latency              36ms
Web Interface        http://127.0.0.1:4848
Forwarding            https://2e8b-2881-448a-58e0-1b2f-e9-837a-e0f0-d89a.ngrok-free.app -> http://localhost:80

Connections:
  ttl    spn    rt1    rt5    p50    p99
    6      4    0.05   0.02   6.41   12.43

HTTP Requests
23:38:28.368 +07 GET /multisensor/cekpH.php
23:38:28.914 +07 GET /multisensor/cekTSS.php
23:38:28.857 +07 GET /multisensor/cekSuhu.php
23:38:28.914 +07 GET /multisensor/cekpHm.php
23:38:16.115 +07 GET /favicon.ico 200 OK
23:38:16.498 +07 GET /multisensor/cekSuhu.php 200 OK
23:38:16.731 +07 GET /multisensor/cekTSS.php 200 OK
23:38:16.693 +07 GET /multisensor/cekpH.php 200 OK
23:38:16.731 +07 GET /multisensor/cekpHm.php 200 OK
23:38:15.673 +07 GET /multisensor/images/Screenshot 2024-12-20 162540.png 200 OK
  
```

Gambar 4.38 Proses *Tunneling* Ngrok

(Sumber: Penulis)

Hasil percobaan yaitu sistem dapat mengelola data dari sensor (suhu, pH, TSS) dan kontrol PWM, menyediakan akses real-time untuk data melalui *web interface*. Data dari sensor dikirimkan melalui metode HTTP GET ke server, lalu server memproses data dan menyimpannya dalam tabel MySQL untuk pencatatan dan pengelolaan. Data yang tersimpan di MySQL diambil menggunakan *Query SQL*. Informasi ditampilkan dalam *web interface* berbasis PHP atau framework modern yaitu bootstrap 4.0 untuk kecepatan dan skalabilitas. Data sensor berhasil disimpan di database dan diakses melalui *web interface*.

#### 4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem secara Real-Time

Pada Pengujian sistem dilakukan untuk melihat antara *hardware* dan *software* apakah sistem sudah berjalan dan berfungsi dengan baik sebelum dilakukan pengujian secara langsung menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* secara otomatis dengan sistem. Sistem akan mengalami 3 tahap berdasarkan program yang telah dibuat, yaitu Pembacaan Nilai Sensor, Penentuan *Output* PWM sebagai hasil dari penggunaan metode *Fuzzy sugeno*, dan pengiriman data pada MySQL dan tampilan interfacenya. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan pompa Booster Pump agar dapat mengalirkan cairan dengan baik dan dibantu oleh valve sebagai penentu jalur keluar cairan yang sebelumnya berasal dari tangki. Untuk menjalankan sistem ini diperlukan parameter (pembacaan nilai sensor) yang telah ditentukan sebelumnya untuk membantu keputusan dalam proses berjalannya aktuator.



Gambar 4.39 Penempatan Sensor pada *Sample Tank*

(Sumber: Penulis)

Gambar 4.38 menunjukkan bahwa sistem akan diawali dengan penempatan sensor pada *Sample Tank*. *Sample tank* berfungsi untuk mengalirkan air yang telah disaring pada sistem Krofta untuk diambil agar dapat diukur parameter-parameternya. Nilai dari ketiga parameter yaitu suhu, pH dan TSS setelah itu akan dihitung dan didapatkan hasilnya berupa *Output* PWM menggunakan *Metode Fuzzy*. *Output* atau hasil PWM tersebut yang akan mengatur kecepatan pompa booster pum lewat modul *AC Dimmer*. Hasil akan ditampilkan Menggunakan Layar LCD yang terpasang pada Panel seperti gambar 4.28 dibawah ini.





Gambar 4.40 Tampilan Nilai di Layar

(Sumber: Penulis)

Nilai dari setiap parameter yang terbaca akan dikirimkan dalam bentuk string. Data tersebut dikirimkan melalui metode *HTTP Get server*. Data tersebut akan tersimpan pada tabel query yang telah dirancang pada MySQL. Data tersebut dapat dimonitor berdasarkan nomor id, suhu, pH, TSS, nilai PWM, dan tanggal data disimpan. Informasi berupa data ditampilkan dalam *web interface* berbasis PHP atau framework modern yaitu bootstrap 4.0. data yang diambil juga akan menampilkan nilai PWM yang dikontrol *outputnya*.

Sistem Kontrol dan Monitoring Air Pada Sistem Krofta dengan Metode Fuzzy di PT. X			
Suhu	pH	TSS	PWM
28.87	7.900	27.200	30

Gambar 4.41 *Web interface* tanggal 12 januari 2025

(Sumber: Penulis)

*Output* PWM akan diubah menjadi signal pulse skip Modulation atau disebut PSM. Sinyal PSM inilah yang akan mengatur kecepatan booster pump dimulai dengan deteksi zero crossing menggunakan detektor untuk mengenali saat gelombang AC melewati titik nol, yang kemudian digunakan untuk sinkronisasi dengan gelombang AC agar kontrol berjalan sesuai fase gelombang. Berdasarkan sinyal kontrol PWM mikrokontroler. Booster pump ini memompa dari tanki fennopol dan disalurkan ke pipa yang langsung menuju tanki Krofta. Larutan fennopol ini sendiri bersifat pH Netral. Pada pengujian keseluruhan sistem, terdapat variabel bebas yaitu parameter suhu, pH air, dan TSS air.

Kontrol PWM pada Booster pump yang akan memompa larutan fennopol akan menjadi variabel terikat yang akan mempengaruhi parameter-parameter tersebut.

Pada percobaan ini diambil data pada tanggal 12 Januari 2025. Pada percobaan ini sistem dapat mengubah kondisi yang semula memiliki TSS Tinggi (id nomor 130) berubah hingga TSS yang bernilai kecil (id nomor 139). Berikut merupakan data yang berhasil disimpan pada tanggal 12 Januari 2025 pada gambar 4.40 di bawah ini.

dbmultisensor.tb\_sensor: 151 rows total (exact)

#	id	suhu	pH	TSS	PWM	datetime
130	130	28,86	7,8	81,2	80	2025-01-12 10:05:43
131	131	28,87	7,83	81,36	80	2025-01-12 10:12:50
132	132	28,87	7,81	70,77	80	2025-01-12 10:19:57
133	133	28,87	7,74	60,28	60	2025-01-12 10:25:05
134	134	28,9	7,84	63,33	60	2025-01-12 10:31:11
135	135	28,87	7,87	54,84	60	2025-01-12 10:37:16
136	136	28,88	7,85	41,8	60	2025-01-12 10:43:21
137	137	28,87	7,82	38,94	60	2025-01-12 10:50:26
138	138	28,88	7,81	27,82	30	2025-01-12 10:57:36
139	139	28,87	7,9	25,0	30	2025-01-12 11:05:38

Gambar 4.42 Hasil Pengukuran 12 Januari 2025

(Sumber: Penulis)

Ini berarti membutuhkan waktu setidaknya 62 menit. Hal ini bergantung pada seberapa keruh kondisi awal dan dosis larutan fennopol yang dilarutkan yaitu 1150 mg/ 50 L dan injeksi udara bertekanan sebesar 0,8 bar. Booster pump akan dipasang setelah pompa filter dimana akan mengfilter dari gumpalan-gumpalan kotoran yang terkandung dalam tanki fennopol.

0/15

Hasil Pengukuran : HASIL PEMERIKSAAN STOK PREPARATION

Spesifikasi : 20-15      PPM : 10      Grade : 75      Nomor : 1995      Date : 21/1/2025      Dose Ratio : 21 %

Lokasi	Conty (ml)	Mass (L/100)	Kaps. Prod (L/100)	Spesifikasi	Resistensi (mg/L/100)	Spesifikasi (mg/L/100)	Preparasi (L/100)	Keterangan
Lab	4,50	4,15	820	75			10%	1/4 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 4 (Aktor)
BS	3,64	3,17	268	25			3%	Kropio
Mok	3,45	4,11	1023				5%	TSS 20,5 mg/L
Mic	3,03	3,26	1170			32	40%	pH 7,8
								Suhu 30° C

Cal = 0,13 %      PPM = 80,06 %      Spesifikasi = 265      1/10      18/01/2025 Rev 03  
 CMB = 0,15 %      Dose Ratio = 21 %      1/10      18/01/2025

Gambar 4.43 Form StockPrep

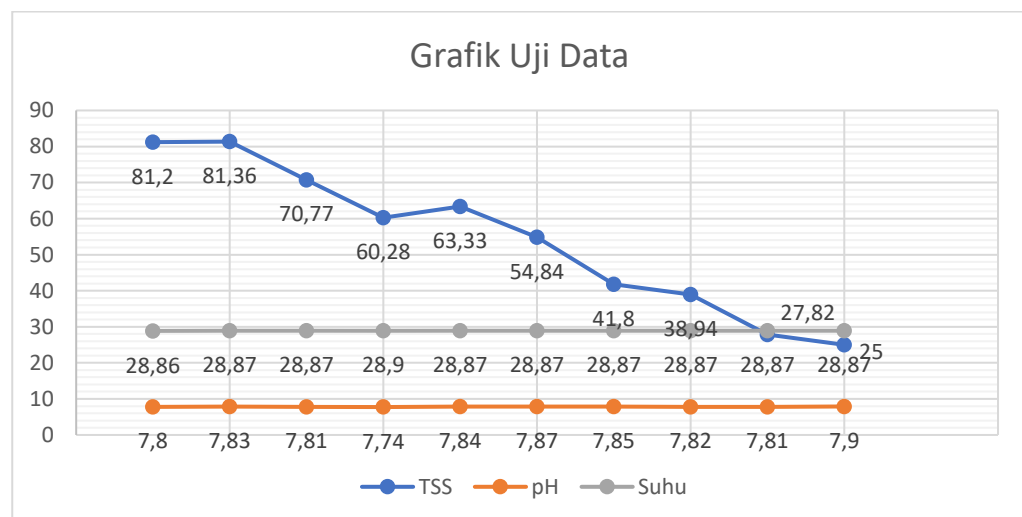
(Sumber: Penulis)

Dari hasil Pengujian oleh stock Preparation, pada jam 11.10 WIB pada tanggal 12 Januari 2025 didapatkan nilai TSS 26,5 mg/L. Pengujian ini diambil dan diukur di laboratorium perusahaan. Apabila nilai pengujian dijadikan acuan kita dapat menghitung deviasi pembacaan sensor dengan hasil lab pada tabel di bawah dan data perubahan nilai parameter TSS terhadap waktu akan ditampilkan pada grafik dibawah ini :

Tabel 4.21 Tabel *Percentage error*


Parameter	Nilai Sensor	Nilai Hasil Lab	<i>Percentage Error (%)</i>
Suhu (°C)	28,87	30	3,76
pH	7,9	7,8	1,3
TSS (mg/L)	27.2	30	9

Tabel 4.22 Grafik Uji Data TSS



Pada percobaan untuk parameter pH diambil data pada tanggal 27 Januari 2025. Pada percobaan ini sistem dapat mengubah kondisi yang semula memiliki pH yang bersifat sedikit basa (id nomor 211) berubah hingga pH yang optimal (id nomor 199). Percobaan Ini dilakukan selama lebih kurang 35 menit. Perubahan pH cenderung stabil menuju angka yang optimal yaitu antara 6,3 – 8,2. Penggunaan fennopol pada krofta cenderung tidak mempengaruhi perubahan nilai pH karena bersifat ph netral.

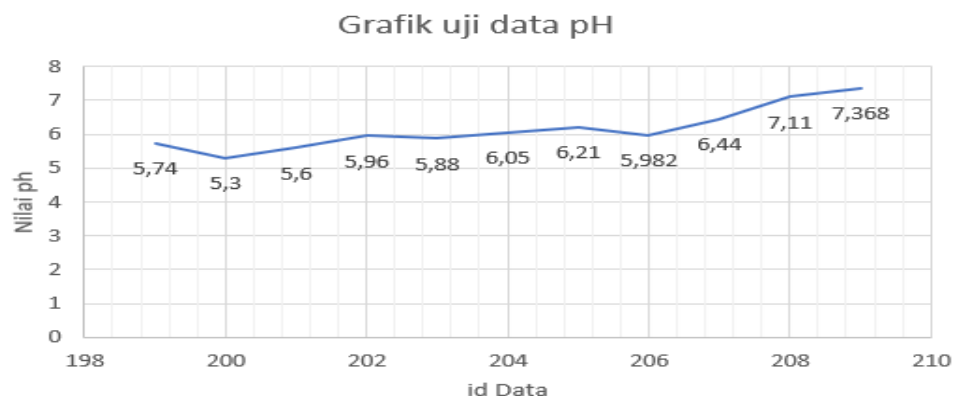
dbmultisensor.tb\_sensor: 151 rows total (exact)

#	id	 suhu	pH	TSS	PWM	datetime
199		31	5,74	52,22	30	2025-01-27 07:55:42
200		27,8	5,3	55,25	30	2025-01-27 07:57:42
201		33	5,6	54,17	30	2025-01-27 07:59:41
202		31	5,96	58,11	30	2025-01-27 08:02:41
203		28	5,88	60,3	30	2025-01-27 08:05:42
204		41,2	5,88	60,87	60	2025-01-27 08:08:42
205		42,57	6,05	44,87	60	2025-01-27 08:12:32
206		37,56	6,21	55,32	30	2025-01-27 08:16:42
207		36,89	5,982	48,28	30	2025-01-27 08:19:40
208		34,74	6,44	36,3	30	2025-01-27 08:22:42
209		30,5	7,11	40,37	30	2025-01-27 08:25:47
210		30.9	7.368	40.65	30	2025-01-27 08:28:47

Gambar 4.44 Hasil Pengukuran 27 Januari 2025 untuk pH dan Suhu  
(Sumber: Penulis)

Dari di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan fennopol untuk parameter pH pada air Krofta tidak terlalu merubah nilai pH secara signifikan. Nilai pH cenderung stabil, karena sifat bahan kimia fennopol ini bersifat netral yang akan bertujuan untuk menurunkan nilai pH apabila pH terlalu tinggi. Berikut merupakan grafik perubahan pH yang diambil dari data pada tanggal 27 Januari 2025.

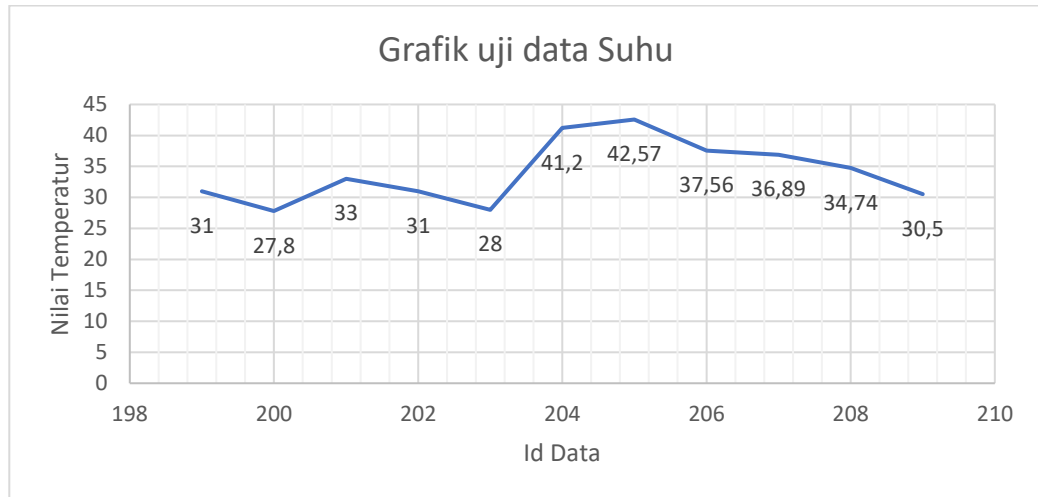
Tabel 4.23 Grafik Uji Data pH



Pada pengujian diatas dapat diamati juga untuk parameter suhu. Penggunaan larutan fennopol sebagai flokulan pada krofta tidak mempengaruhi suhu, dikarenakan suhu air bergantung pada proses *forming*, *heating* oleh *yankee dryer*, dan proses *drying*. Namun suhu dimonitor karena apabila suhu air terlalu

rendah akan mempengaruhi poses produksi karena air yang diolah apda sistem krofta akan kembali digunakan oleh bagian produksi.Dari di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan fennopol untuk parameter suhu pada air Krofta tidak terlalu merubah nilai suhu secara signifikan. Berikut merupakan grafik perubahan suhu yang diambil dari data pada tanggal 27 Januari 2025.

Tabel 4.24 Grafik Uji Data Suhu



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 5

### *KESIMPULAN DAN SARAN*

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil dan analisa yang telah dilakukan pada bab 4, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil kalibrasi antara pembacaan sensor pH 4530c dan alat kalibrator yaitu pocket pH meter Ph-W2 menggunakan metode kalibrasi linear regresi tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dengan hasil rata-rata *error* adalah 2,736 %. Untuk sensor Suhu DS18B20 memperlihatkan bahwa perbedaan antara pembacaan sensor dengan validasi alat ukur berupa Termometer Amtast-WT1 menunjukkan perbedaan nilai yang tidak signifikan dengan rata-rata kesalahan yang didapatkan mencapai 1,742 %. Untuk sensor TSS Dfrobot SEN024 memperlihatkan bahwa perbedaan antara pembacaan sensor dengan validasi alat ukur berupa HACH DR900 *Calorimeter* menunjukkan perbedaan nilai yang tidak signifikan dengan rata-rata kesalahan yang didapatkan mencapai 4,10 %. Dengan demikian keseluruhan sensor yang digunakan dan telah diuji menunjukkan akurasi yang memuaskan dengan rata-rata nilai akurasi sebesar 97,2 %, maka dikatakan bahwa sensor yang digunakan terbukti akurat dan memuaskan dalam penggunaannya.
2. Dari Hasil Uji coba kontrol pompa *booster* menggunakan Metode PWM dengan pengaturan di angka 30%, 60%, dan 80 %, driver dapat mengatur tegangan secara linear mengikuti besaran PWM yang diatur. Hal ini dapat disimpulkan bahwa Driver *AC dimmer* dan *Booster Pump* dapat berjalan dengan sangat baik.
3. Metode *Fuzzy Logic* yang digunakan dalam sistem terbukti dapat memonitor dan mengontrol penggunaan bahan chemical. Dalam monitor sistem dengan parameter yaitu suhu, pH, dan TSS, sistem dapat menampilkan dan menghasilkan sinyal kontrol berupa PWM untuk aktuator *booster pump* dan juga hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan pada Layar LCD 20x4 I2C *Integrated* dan dengan pengaturan laju aliran *chemical*, angka dari setiap parameter yang didapatkan menjadi bernilai optimum dan stabil. Hal ini

menunjukkan bahwa program yang dibuat dapat memenuhi tujuan penelitian dan berjalan efisien dan handal.

4. Penggunaan *Database* secara *Realtime* yaitu MySQL terbukti handal untuk dapat mendokumentasikan data dengan cepat, akurat, dan rapi. Hal ini terbukti dari percobaan MySQL dan Percobaan sistem keseluruhan, data yang dikumpulkan dalam bentuk string tersebut dapat tercatat pada tabel *Query* di MySQL penggunaan *Web interface* dengan tipe data php juga melalui tunneling Ngrok.exe mampu mempublikasi URL yang bertipe *local host* menjadi Publik yang semua *device* mampu memonitor sistem.

## 5.2. Saran

Dari hasil Percobaan yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang harus ditingkatkan kembali tentunya untuk memaksimalkan penelitian selanjutnya berdasarkan topik penelitian tugas akhir ini.

1. Penggunaan Jenis Sensor yang memiliki tingkat keakurasian yang lebih tinggi sehingga *delay*/ waktu tunda pembacaan lebih baik.
2. Penggunaan daya motor pompa yang dapat ditingkatkan sehingga laju aliran bahan *chemical* dapat mengimbangi parameter yang diukur dalam sistem krofta dan pengaturan laju aliran berdasarkan Flow L/min sehingga kontrol lebih akurat.
3. Dalam pembuatan *web interface* agar dapat diakses publik dan sistem keamanan HTTPS bersertifikat, perlunya menggunakan *Hosting* yang dapat mengakomodasi data dengan lebih aman, cepat, dan baik (Berbayar).



## **DAFTAR PUSTAKA**

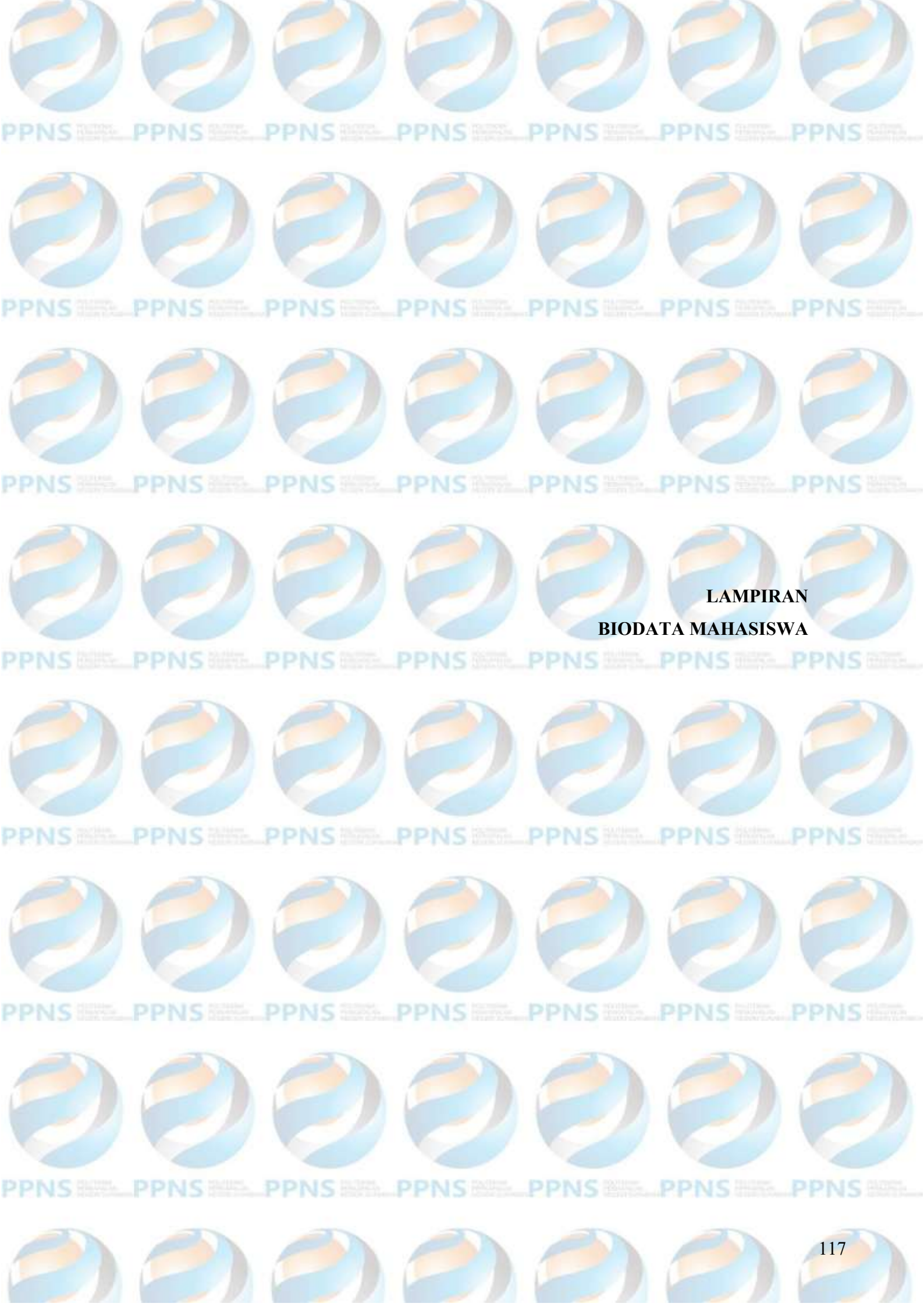
- Adha, Alfiadi, Dwiny Meidelfi, and Rahmat Hidayat. 2022. "PENERAPAN LOGIKA FUZZY PADA MESIN CUCI DAN MENENTUKAN LAMA WAKTU PENCUCIAN." *Jurnal Informatika Dan Komputer* 6(1):125–32.
- Alfikri, Ahmad Mushawwir, and Sofitri Rahayu. 2023. "Rancang Bangun Buck Converter Efisiensi Tinggi Dengan Pengendali Arduino Nano Berbasis Simulasi Multisim 14.2." *KILAT* 12(2). doi: 10.33322/kilat.v12i2.1875.
- Amni, Destra. 2023. "PENERAPAN METODE FUZZY MAMDANI PADA PEMILIHAN BIDANG PEKERJAAN SESUAI KOMPETENSI (STUDI KASUS DI ATAK KERINCI)." *Jurnal SIMTIKA* 6(2).
- Anistyasari, Yeni, and Reiza Mustika Noer. 2020. *Logika Fuzzy Untuk Sistem Rekomendasi Peminatan Siswa*. Vol. 2. Surabaya.
- Ardiyansyah, Rizal, and Syahid Abdullah. 2022. "PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI PH AIR HUJAN BERBASIS IOT (STUDI KASUS: DESA GEDEPANGRANGO KABUPATEN SUKABUMI)." *JUTEKIN (Jurnal Teknik Informatika)* 10(1). doi: 10.51530/jutekin.v10i1.562.
- Bahri, Syaiful. 2020. "RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASI BERBASIS WEB PADA TEACHING FACTORY BAKERY SMK PUTRA ANDA BINJAI." 8(3).
- Budi Prasetya, Arifin, Rifki Ridho Dwi Saputro, and Muhammad Ridwan Arif Cahyono. 2022. "Rancang Bangun Sistem Scanner Dan Aplikasi Monitoring Tire Hasil Check Di Area Karantina OEM." *Jurnal Instrumentasi Dan Teknologi Informatika (JITI)* 3(2):5027.
- Devia, Regina, Bayu Nugraha, Sri Pranita, I. GAP Raka Agung, and I. N. Setiawan. 2024. "RANCANG BANGUN PURWARUPA TOILET PORTABLE BERDINDING PDLC DENGAN SISTEM SOLAR TRACKING BERBASIS ESP32." *Jurnal SPEKTRUM* 11(1).
- Finanda, Wibis, Joseph Dedy Irawan, and Karina Auliasari. 2020. *PENERAPAN IOT PADA MONITORING BUDIDAYA UDANG HIAS DALAM AKUARIUM BERBASIS ARDUINO*. Vol. 4. Malang.

- Huda, Muhammad Bagus Roudlotul. 2022. *ANALISA SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR MENGGUNAKAN SENSOR DS18B20 BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO*. Surabaya.
- Ismayana, Andes, Tyara Puspaningrum, Mia Putri, and Nastiti Indrasti. 2022. “KAJIAN IMPLEMENTASI PELUANG PRODUKSI BERSIH PADA INDUSTRI KERTAS SACK KRAFT PT X.” *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 74–83. doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.74.
- Jangga, Saparuddin Latu, and Surya Syarifuddin. 2022. “PENYULUHAN DAMPAK KLOORIN TERHADAP KESEHATAN DAN CARA PEMERIKSAANNYA DI WILAYAH DESA PARANGBADDO KECAMATAN POLONGBANGKENG UTARA KABUPATEN TAKALAR.” *JPM Jurnal Pengabdian Mandiri* 1(9).
- Kurniawan, Agus, Berlin Saragih, and Hasballah. 2021. *ANALISA PERANCANGAN MESIN POMPA AIR DANGKAL UNTUK KEBUTUHAN SKALA RUMAH TANGGA*. Vol. 2.
- Matondang, Rosihan Anwar, Pausan Lubis, and Herri Trisna Frianto. 2022. “RANCANG BANGUN WATER TREATMENT SISTEM PEMANTAU KUALITAS AIR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT).” *Konferensi Nasional Sosial Dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022*.
- Panjaitan, Lastri, Darjat Saripurna, and Guntur Syahputra. 2019. *LOGIKA FUZZY DALAM SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK MENENTUKAN PEMENANG TENDER PROYEK (STUDI KASUS DI PT. IDA PUTRI SENANDUNG)*.
- Purwanto, Sugeng. 2021. “Rancang Bangun Electric Power Converter (Catu Daya) Untuk Alat Anodizing Portable.” *ENERGI & KELISTRIKAN* 13(2):86–94. doi: 10.33322/energi.v13i2.1141.
- Putra, Andi, Slamet Budiprayitno, and Lucky Putri Rahayu. 2021. “Perancangan Sistem Kontrol PH Dan Suhu Air Menggunakan Metode Fuzzy Dan Terintegrasi Dengan Internet of Things (IoT) Pada Budidaya Ikan Hias.” *Jurnal Teknikl TS* 10(2).
- Rachmawati, Indira Dwi, Puput Wanarti Rusimamto, and Muhammad Syariffuddin Zuhrie. 2020. *PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC*

*CONTROL UNTUK PENGATURAN KESTABILAN GERAK PADA TWO WHEELS SELF BALANCING ROBOT BERBASIS ARDUINO UNO.*

- Rustiawan, Arsad. 2022. *ANALISA PERFORMANCE PENGENDALI SUHU INKUBATOR BAYI FUZZY LOGIC CONTROLLER*. Semarang.
- Selay, Arief, Gerald Dwight Andgha, M. Andra Alfarizi, M. Wahyudi, Muhammad Noufal Falah, Mulil Khaira, and Muhammad Encep. 2022. *INTERNET OF THINGS*. Vol. 1.
- Sulistyo, Muhammad Taufik, Komang Somawirata, and Sotyohadi. 2019. *Sistem Pengukuran Kadar Ph, Suhu, Dan Sensor Turbidity Pada Limbah Rumah Sakit Berbasis Arduino UNO*. Malang.
- Wahyuni, Indah. 2021. *LOGIKA FUZZY TAHANI (Teori Dan Implementasi)*. 1st ed. Sleman: KamjoyoPress.
- Wijaya, Gautama, Tony Tan, Stefanus Eko Prasetyo, and Sun Pho. 2024. “Analisis Perbandingan VPN Tunnel Antara Ngrok Edge Cloud vs Public IP Address Menggunakan Open VPN.” *Conference on Management, Business, Innovation, Education and Social Science* 4(1).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**LAMPIRAN  
BIODATA MAHASISWA**

## LAMPIRAN BIODATA MAHASISWA

- |     |                        |   |   |
|-----|------------------------|---|---|
| 1.  | Nama                   | : Yury Novian Ramadani  |  |
| 2.  | NRP                    | : 0923140116  |   |
| 3.  | Program Studi          | : D-4 Teknik Otomasi RPL  |   |
| 4.  | Agama                  | : Islam   |   |
| 5.  | Status                 | : Belum Menikah   |   |
| 6.  | Alamat Asal            | : Perum. Siwalan Permai VI Blok H-5 Desa<br>Kembangbilo Kecamatan Tuban Kabupaten<br>Tuban 62319. |   |
| 7.  | Nomor Telepon          | : 081217124696  |   |
| 8.  | Jenis Kelamin          | : Laki - laki   |   |
| 9.  | Email                  | : yury.novian@gmail.com   |   |
| 10. | Tempat, Tanggal Lahir  | : Tuban, 27 November 2000   |   |
| 11. | Nama Orang Tua/Wali    | : Mahfud Yudiono  |   |
| 12. | Alamat Orang Tua /Wali | : Perum. Siwalan Permai VI Blok H-5 Desa<br>Kembangbilo Kecamatan Tuban Kabupaten<br>Tuban 62319. |   |
| 13. | Telepon Orang Tua/Wali | : 085236977142  |   |
| 14. | Riwayat Pendidikan     |   |   |

PENDIDIKAN FORMAL			
Pendidikan	Tahun	Tempat Pendidikan	Jurusan
Diploma 4	2024 – sekarang	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	Teknik Otomasi
Diploma 3	2019 – 2022	Politeknik Negeri Malang	Teknik Elektro
SMA	2016 – 2019	SMAN 1 Tuban	IPA
SMP	2013 – 2016	SMPN Tuban	-
SD	2007 – 2013	SD Islam Insan Kamil	-