

# SISTEM PENGENDALI PUTARAN TURBIN UAP BERBASIS FUZZY MENGGUNAKAN ESP32 PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH SKALA MIKRO KAMPUS-II ITN MALANG

<sup>1</sup>Adelita Dinda Zumaranti, <sup>2</sup>Aryuanto Soetedjo, <sup>3</sup>Widodo Pudji Muljanto  
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

[1912083@scholar.itn.ac.id](mailto:1912083@scholar.itn.ac.id), [aryuanto@lecturer.itn.ac.id](mailto:aryuanto@lecturer.itn.ac.id), [widodopm@yahoo.com](mailto:widodopm@yahoo.com)

*Abstract— Sistem pembangkit listrik tenaga sampah sangat membantu untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin naik, dengan memanfaatkan sampah dapat menjadikan alternatif untuk membuat pembangkit skala mikro. Pada pembangkit ini memiliki putaran yang cenderung tidak stabil, maka kestabilan sangat dibutuhkan untuk menjaga Variabel proses tetap berjalan dengan konstan. Salah satu cara yaitu mengendalikan kecepatan putaran turbin dengan frekuensi pada turbin generator. Sistem control yang digunakan untuk menjaga perubahan putaran dengan frekuensi adalah logika fuzzy, pengatur kecepatan putaran turbin dikendalikan dengan beban dummy load. Penggunaan ESP32 selain menjadi otak dari sistem kendali juga dapat dimanfaatkan untuk mengganti parameter melalui web server. Hasil yang diperoleh tidak dapat menstabilkan putaran ke nilai set point dikarenakan output daya yang dihasilkan oleh TRIAC SPC1-50 tidak optimal, hanya sampai mendekati linier. Sehingga sistem kendali yang sudah dibuat tidak dapat bekerja secara maksimal. Hal tersebut menyebabkan Fuzzy Logic pada outputan tidak dapat bekerja secara optimal.*

*Kata Kunci— Sistem Kendali, Turbin, Generator, Fuzzy, Kecepatan Putaran, ESP32, dummy load*

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pengolahan sampah yang dapat menjadikan sebuah energi listrik sering disebut Pembangkit Listrik Tenaga Sampah. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah ini dapat memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar yang nantinya akan digunakan untuk memanaskan air didalam boiler. Uap panas yang dihasilkan oleh boiler akan dikirimkan ke turbin uap untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik[1]. Kecepatan yang dihasilkan turbin dan generator cenderung tidak stabil sehingga membutuhkan pengendali untuk mengatur kecepatan turbin generator[2]. Salah satu cara yang dapat dilakukan agar kecepatan generator menjadi stabil yaitu dengan cara mengontrol beban pada turbin generator. Sistem pengendalian turbin dan generator perlu dilakukan demi

menjaga Variabel proses tetap pada nilai konstan sesuai set point yang telah ditentukan. Dalam hal ini, Variabel proses yang akan dikontrol adalah Variable kecepatan putaran turbin atau frekuensi output generator[3].

Mekanisme pengaturan putaran turbin akan menggunakan konsep *Balanced Load Control* yang dilengkapi dengan beban penyeimbang antara energi listrik yang dihasilkan generator dengan beban. Apabila beban yang digunakan oleh pelanggan lebih kecil dari produksi energi listrik yang dihasilkan generator, maka sisanya energi tersebut akan dialihkan ke *ballast load*. Dengan adanya *balanced load* maka tegangan dan frekuensi generator akan menjadi lebih stabil[4]. Perubahan kecepatan pada turbin-generator dilakukan dengan mengikuti nilai perubahan beban, atau melalui pengaturan laju aliran uap sebagai masukan dari pemodelan ini. Pada penelitian ini konsep yang digunakan untuk mengatur putaran turbin dengan cara mengatur kesetimbangan beban generator listrik terhadap daya poros turbin. Sehingga akan terlihat perubahan nilai frekuensi yang dihasilkan oleh turbin-generator[5].

Pada permasalahan ini dibutuhkan sebuah sistem control yang berfungsi untuk menstabilkan putaran turbin agar output frekuensi terjaga di setpoint yang diinginkan. Metode kendali yang akan digunakan untuk mengontrol putaran turbin pada penelitian ini yaitu *Fuzzy Logic Control*. *Fuzzy Logic Control* adalah kecerdasan buatan yang mempunyai kemampuan untuk dapat memecahkan masalah pembacaan nilai yang berubah – ubah menjadi sebuah nilai tegas. Nilai tegas tersebut dihasilkan dengan cara memetakan nilai – nilai outputan sensor putaran yang dirubah dalam bentuk algoritma yang dapat di proses menggunakan mikrokontroler. Mikrokontroler yang akan digunakan nantinya yaitu ESP32. Dikarenakan mikrokontroler ESP32 memiliki banyak fungsi namun

daya yang dikonsumsi rendah dan sudah dilengkapi dengan *WiFi* dan *Bluetooth*.

Pada penelitian ini ESP32 digunakan untuk otak dari sistem controller serta berkomunikasi dengan sebuah web yang nantinya web tersebut digunakan untuk merubah nilai parameter – parameter pada sistem *Fuzzy Logic Controller*. Sehingga dapat mempermudah dalam pengkalibrasian parameter – parameter yang digunakan pada sistem *Fuzzy Logic Controller*. Dengan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dalam pengendalian turbin dan generator pada PLTSa yang akan dibuat.

## B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem kendali putaran turbin uap berbasis ESP32 dengan mengontrol frekuensi/ putaran turbin pada pembangkit listrik tenaga sampah skala mikro menggunakan *fuzzy* ?
2. Bagaimana menyusun sistem web untuk mengganti parameter *fuzzy* melalui ESP32?

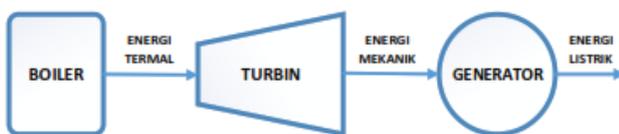
## C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengontrol putaran turbin uap dengan metode *Logika Fuzzy Control* menggunakan ESP32, dimana parameter dapat diganti dengan mudah melalui web menggunakan komunikasi wireless.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin yang menggunakan energi panas dari uap untuk dapat menggerakkan rotor atau bilah bilah pada turbin. Energi yang dihasilkan terdapat dari proses pembakaran fosil, hal tersebut dapat menghasilkan panas yang bisa digunakan untuk menghasilkan listrik hal ini dapat disebut sebagai listrik tenaga termal atau terdapat pada sistem boiler. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin akan dikonversikan melalui generator menjadi energi listrik[6].

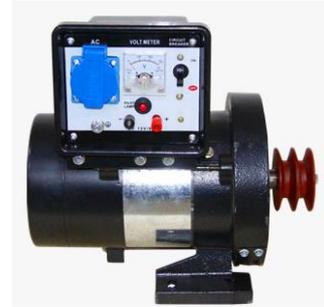


Gambar 2.1. Sistem Kerja Boiler

### B. Generator

Generator merupakan alat yang mampu menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanik yang pada umumnya menggunakan induksi elektromagnetik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dengan memutar suatu kumparan ke dalam medan magnet menimbulkan GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi. Sumber energi mekanik ini terdapat pada resiprokat ataupun turbin. Generator listrik untuk pertama

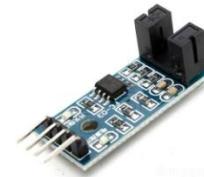
kalinya ditemukan oleh seorang bernama Faraday pada tahun 1831.



Gambar 2.2 Generator

### C. Sensor GroVe Coupler

Sensor Kecepatan ini biasa digunakan untuk pendeteksi kecepatan motor, RPM, pengukur putaran, Tachometer, pembatas kecepatan dan lain sebagainya. Jenis sensor ini memanfaatkan celah *Opto-Couper* yang dapat menghasilkan sinyal output *High TTL* apabila terdapat objek yang melintasi celah tersebut.



Gambar 2.3 Sensor GroVe Coupler

### D. ESP32

ESP32 ini merupakan mikrokontroler yang memiliki *Wifi* dan *Bluetooth* bawaan yang dapat digunakan untuk pengontrolan jarak jauh[7].



Gambar 2.4 ESP32 Dual Core ESP-32 & ESP32S Board Wroom-32

### E. TRIAC tipe SPC1-50

Merupakan beban penyeimbang untuk mengatur besar kecilnya daya yang digunakan. Modul pengatur daya ini berupa TRIAC dari produk "*Autonic*" tipe *SPC1-50*



Gambar 2.5 Pengatur Daya Autonic SPC1-50

F. Converter PWM to Voltage

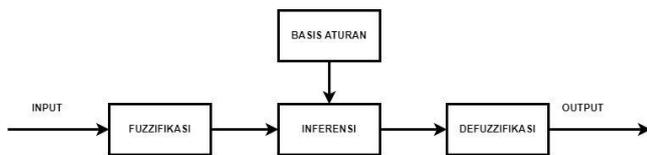
PWM to Voltage merupakan sistem yang mengubah input sinyal PWM 0-5V menjadi output Analog 0-10V. sistem ini dapat ditenagai oleh catu daya 15-24V DC (500mA) dengan frekuensi input yang disarankan sebesar 500Hz +/- 2% [8]



Gambar 2.6 PWM to Voltage

G. Fuzzy Logic Control

Logika fuzzy adalah logika yang memiliki kebenaran atau kesamaran nilai diantara benar dan salah. Logika Fuzzy ini merupakan metode sistem kendali berdasarkan pemikiran manusia, dari suatu yang samar dapat dirubah menjadi pemikiran yang lebih logis[9]. urutan logika fuzzy dapat di lihat seperti gambar 2.7



Gambar 2.7 Struktur Control Logika Fuzzy

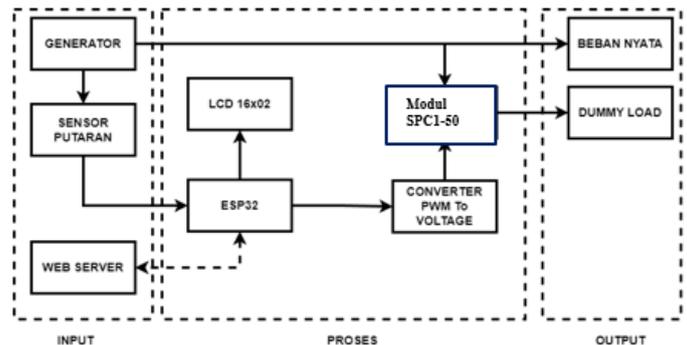
- **Input**  
Input yang digunakan dalam logika fuzzy merupakan nilai dari bilangan real.
- **Fuzzifikasi**  
Perubahan dari nilai input yang merupakan bilangan real tetapi bukan nilai fuzzy menjadi himpunan fuzzy dinamakan proses fuzzifikasi dari bilangan real. Hal tersebut dapat mengubah Variable input untuk diatur ke beberapa fungsi keanggotaan mulai dari range, parameter, type dan pengaturan current untuk membership function yang digunakan.
- **Rule Base**  
Penggunaan Rule Base digunakan untuk membuat aturan fuzzy dari Deklarasi aturan 'IF-THEN' atau 'JIKA-MAKA' agar sistem bekerja dengan stabil berdasarkan pemikiran manusia untuk memproses nilai input dan output.
- **Inferensi**  
Proses inferensi merupakan pengontrolan dalam domain fuzzy. Pada tahap ini terdapat perubahan yang membutuhkan sebuah aturan Deklarasi rule base.
- **Defuzzifikasi**  
Pada proses terakhir logika fuzzy ini memiliki aksi control output dalam menampilkan prediksi agar distribusi aksi control fuzzy yang sudah

dihasilkan. Metode Mean of Maximum (MOM) merupakan metode defuzzifikasi yang sering dijumpai.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan serta pembuatan "Sistem Kontrol putaran turbin uap berbasis Fuzzy Logic Control menggunakan ESP32 pada PLTSampah skala mikro di kampus II ITN Malang". Penelitian ini mengembangkan sistem kendali turbin generator dengan kecepatan putaran yang memiliki tujuan utama untuk menstabilkan putaran generator sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam pengendalian turbin dan generator pada PLTSampah skala mikro ini.

A. Diagram Blok



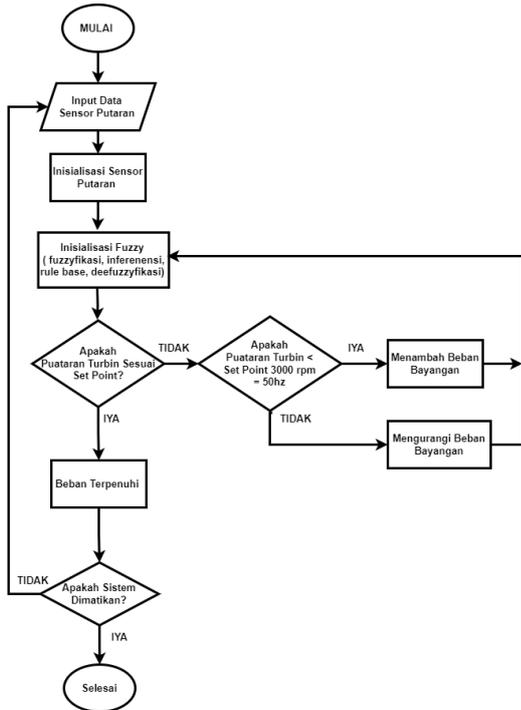
Gambar 3.1 Diagram Blok Alat

Generator berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik harus mendapatkan beban yang konstan agar keluaran tegangan dari generator juga konstan. Diperlukan beban tiruan agar menjaga generator tetap stabil maka perlu daya yang sama dengan daya yang dikeluarkan generator. Dengan memanfaatkan putaran generator yang akan dibaca oleh sensor putaran kemudian diproses oleh ESP32. Ketika beban konsumen masuk maka Triac akan menyeimbangkan beban dari pengguna agar putaran tetap stabil. Selanjutnya FLC memerintah agar putaran tetap stabil pada TRIAC yang berfungsi sebagai penyeimbang untuk Mengatur daya yang dihasilkan. Hasil dari proses tersebut berupa pulse yang dikonversi melalui tegangan agar dapat diteruskan ke dummy load (beban bayangan). Selanjutnya dari ESP32 akan diteruskan ke web server untuk mengganti parameter-parameternya.

B. Flowchart Sistem

Pada penelitian ini berfokus pada sistem control kecepatan putaran turbin dan generator. Dari input data sensor kecepatan akan dikirim ke mikrokontroler ESP32. Inisialisasi Fuzzy merupakan Fuzzifikasi, inference, Rule Base dan Defuzzifikasi proses pemberian dan pemetaan yang sudah ditetapkan pada ESP32 hal ini Logika Fuzzy merupakan proses untuk mengolah hasil dari pembacaan sensor putaran sesuai set point. Apakah nilai sesuai set point? Jika iya maka beban dari generator telah terpenuhi,

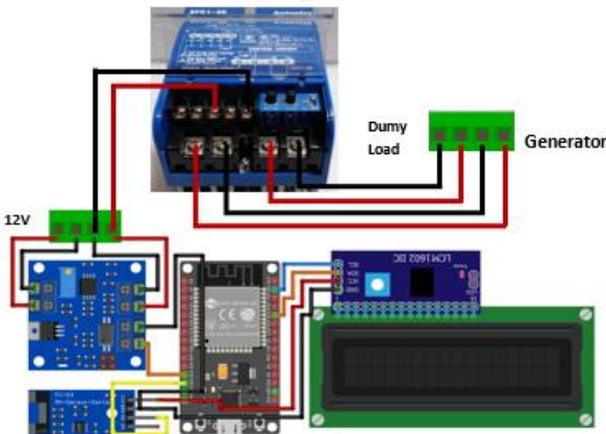
jika tidak apakah putaran turbin kurang dari set point? Jika tidak akan kembali lagi dari input sensor putaran.



Gambar 3.2 flowchart sistematika alat

### C. Rancangan Sistem Hardware

Perancangan *hardware* ini terdiri dari: sensor putaran, ESP32 sebagai mikrokontroler, PWM to Voltage sebagai konversi pulse ke dalam tegangan, Triac sebagai beban penyeimbang, LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 dan sumber 12V dengan desain diagram hardware seperti ditunjukkan pada gambar 3.3



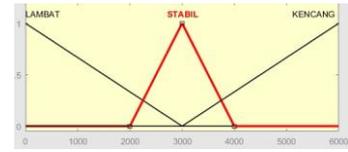
Gambar 3.3 Diagram Hardware Sistem Kontrol

### D. Kendali Logika Fuzzy

#### a) Fuzzifikasi

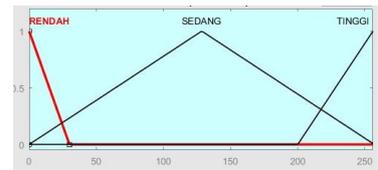
Proses *fuzzifikasi* merupakan pengolahan untuk mengganti variable non fuzzy (numerik) ke variable fuzzy (linguistik) pada gambar 3.4 merupakan

batasan dari membership function dari input nilai kecepatan putaran. Range yang digunakan yaitu 0-6000 dengan kategori Lambat, Stabil dan Kencang.



Gambar 3.4 3 Membership Segitiga pada Kecepatan Putaran

Kemudian menggunakan PWM menggunakan range 0-255 dengan kategori Rendah, Sedang dan Tinggi seperti ketentuan pada gambar 3.5



Gambar 3.5 3 Membership Segitiga pada PWM

#### b) Rule Base

Pada setiap nilai input yang dihasilkan sensor dan hasil putaran setiap keluaran, dibentuklah aturan atau rule, aturan yang dibuat yaitu:

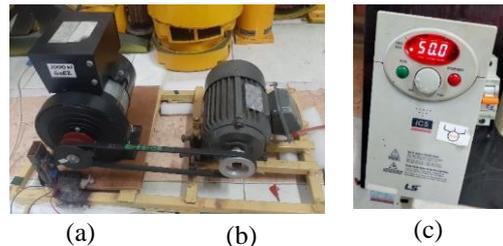
- (1) IF KECEPATAN LAMBAT THEN PWM SEDANG
- (2) IF KECEPATAN STABIL THEN PWM RENDAH
- (3) IF KECEPATAN KENCANG THEN PWM TINGGI

#### c) Defuzzifikasi

*Defuzzifikasi* yang akan dipakai dalam penelitian ini menggunakan penalaran metode mamdani. Karena sistem membutuhkan proses yang berlangsung kontinyu dan cepat.

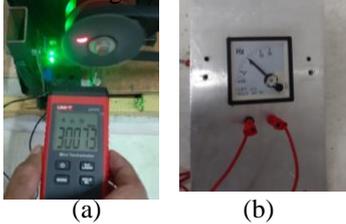
### E. Kalibrasi Sensor Putaran

Dalam pengambilan data memerlukan nilai kecepatan dari putaran generator tersebut dengan satuan RPM (*ReVolution Per Minute*).



Gambar 3.6 (a) generator (b) motor AC (c) VCD inverter

Gambar 3.6 merupakan alat yang digunakan untuk proses pengambilan data beserta kalibrasi sensor putaran menggunakan sensor Grove Coupler. Dari alat tersebut putaran dari generator akan diukur menggunakan tachometer dengan bantuan motor ac sebagai penggerakannya dan VCD sebagai sumbernya dengan menggunakan frekuensi 50 Hz. Setelah diukur menggunakan tachometer langkah selanjutnya mengukur keluaran frekuensi dari generator tersebut menggunakan frekuensi meter analog.



Gambar 3.7 (a) Kalibrasi Putaran Generator Menggunakan Tachometer (b) Kalibrasi Putaran Generator Menggunakan Frekuensi Meter Analog.

Pada gambar 3.7 telah diketahui bahwa 50Hz menghasilkan 3000RPM, selanjutnya proses pengklaribrasian pada sensor putaran di program IDE yang akan ditampilkan melalui LCD.



Gambar 3.8 (a) Hasil Frekuensi Kalibrasi VCD Motor AC (b) Tampilan LCD Dari Hasil Kalibrasi Kecepatan Putaran

Gambar 3.8 merupakan hasil tampilan LCD dan frekuensi yang dihasilkan oleh VCD pada motor AC. Pada percobaan sebelumnya nilai RPM tidaklah stabil dan jauh berbeda dari hasil tachometer yang didapatkan. Maka menggunakan sistem filtering dari data – data yang sudah didapatkan agar meminimalisir nilai error. Penggunaan filtering ini didapat per 10 data untuk mencari nilai rata - rata pembacaan agar menghasilkan nilai RPM yang sesuai/ stabil. adapun rumus yang digunakan untuk filtering yaitu:

$$\frac{\text{jumlah bacaan sensor}}{\text{jumlah data}} = \text{hasil nilai rata - rata filtering}$$

Jadi nilai RPM yang didapat saat ini sudah dapat stabil dengan metode filtering yaitu ketika frekuensi menunjukkan 50Hz maka putaran yang dihasilkan 3000.

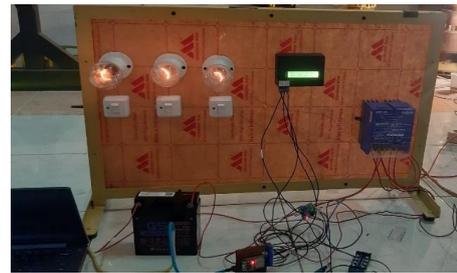
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengambilan data pada penelitian ini, untuk memutar generator turbin dimanupulasi dengan Motor DC karena kecepatan motor menyerupai putaran turbin. Untuk pengambilan data memerlukan parameter *Revolusion Per Minute* (RPM) dari generator yang nantinya akan diubah

kedalam *Pulse With Modultion* (PWM) yang diubah menjadi tegangan untuk mengontrol SPC1-50.

#### A. Hasil Rancangan Alat

Rancangan pada alat ini digunakan untuk mendapatkan nilai rpm generator yang dijadikan inputan sebagai pengontrol dummyload. Proses pengontrolan tersebut menggunakan metode logika fuzzy yang bertujuan untuk mengontrol kestabilan pada putaran turbin generator. Dari perancangan alat ini dapat dijelaskan bahwa pengontrolan dummyload dikontrol oleh TRIAC menggunakan tegangan. Akan tetapi output yang dihasilkan oleh ESP32 berupa PWM maka diperlukan konVerter PWM to Voltage untuk mengubah pulse ke Voltage. Untuk mengaktifkan PWM to Voltage memerlukan supplay 12-30 Volt. Output yang diperlukan untuk mengontrol TRIAC membutuhkan tegangan 0-5V sehingga output PWM yang diperlukan harus sama dengan input control TRIAC. Dari input control tersebut digunakan untuk mengatur besarnya daya lampu pada dummyload. perancangan sistem hardware dan software pada alat dapat dilihat pada gambar 4.1.

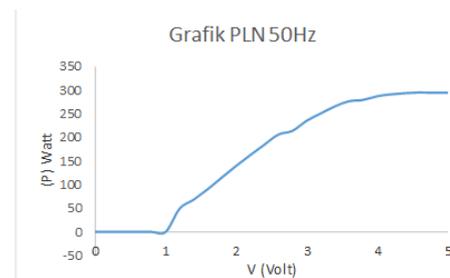


Gambar 4.1 Perancangan Alat

#### B. Hasil Pengujian Modul TRIAC (SPC1-50)

Pada percobaan ini terdapat 2 bagian yaitu menggunakan tegangan sumber dari Generator dan menggunakan tegangan sumber dari PLN yang nantinya akan digunakan untuk perbandingan kondisi input terhadap output yang dihasilkan oleh modul TRIAC(SPC1-50) itu sendiri. Penggunaan modul TRIAC(SPC1-50) sendiri terbagi menjadi 3 mode yaitu phase, cycle dan on off. Mode yang digunakan pada pengujian ini adalah mode phase dengan tipe analog yang membagi sudut control secara sama menurut sinyal input, dari mode phase dapat mengontrol sinyal bolak balik sesuai input control sinyal.

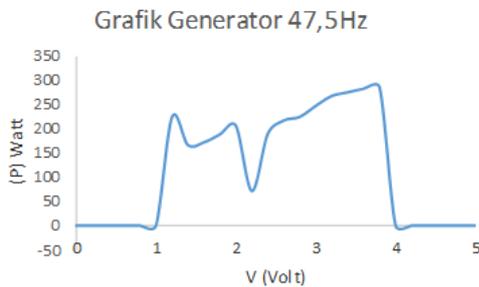
Yang pertama menggunakan sumber PLN dengan keluaran 50Hz mendapatkan hasil grafik seperti berikut dengan pengukuran Watt (P) dan Volt (V) :



Gambar 4.2 Grafik Input (Voltage) dan output (Watt) modul TRIAC SPC1-50 dengan sumber PLN

Dari hasil pengukuran input Voltage dan output Watt menggunakan sumber PLN didapatkan grafik pada gambar 4.2 menunjukkan kenaikan output Watt terhadap tegangan masih tergolong linier, ketika input tegangan 5V maka output yang dihasilkan hanya sampai 295Watt, sedangkan saat mengukur dummy load mencapai 300Watt.

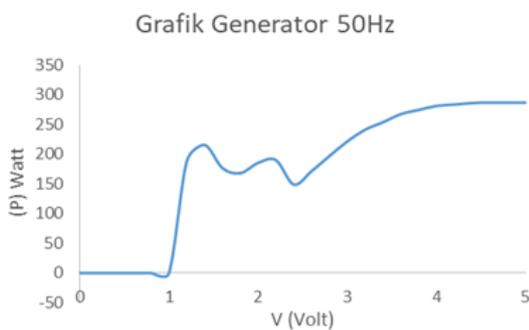
Yang kedua menggunakan sumber dari generator dengan frekuensi 47,5Hz didapatkan hasil grafik seperti berikut:



Gambar 4.3 grafik Input (Voltage) dan output (Watt) Modul TRIAC SPC1-50 dengan frekuensi 47,5Hz

Dari hasil pengukuran input Voltage dan output Watt menggunakan sumber generator dengan frekuensi 47,5Hz. Didapatkan grafik pada gambar 4.3 dikatakan tidak linier karena daya mengalami penurunan signifikan dengan nilai 71,5Watt berbeda seperti grafik pada PLN yang menunjukkan grafik yang Linier. Terjadi penurunan pada 4Volt dikarenakan penggerak pada motor mengalami arus yang sangat tinggi sehingga inverter VCD mengaktifkan mode aman dengan mematikan motor secara otomatis. Hal tersebut dikarenakan frekuensi yang kecil dan tegangannya yang besar mengakibatkan impedansi yang besar, sehingga motor menjadi panas karena arus yang tinggi.

Kemudian percobaan pada frekuensi 50Hz dari sumber generator didapatkan hasil grafik seperti berikut :



Gambar 4.4 grafik Input (Voltage) dan output (Watt) Modul TRIAC SPC1-50 dengan frekuensi 50Hz

Dari hasil pengukuran input Voltage dan output Watt menggunakan sumber generator dengan frekuensi 50Hz. Didapatkan grafik pada gambar 4.4 bahwa kenaikan output Watt terhadap tegangan mengalami naik turun yang dapat dikatakan grafik ini mendekati linier karena grafik yang ditunjukkan hampir sama dengan grafik pada PLN, cukup

berbeda dari frekuensi 47,5Hz yang mengalami overload pada motor. Serta hasil daya yang dihasilkan hanya mencapai 286,9Watt sedangkan daya asli dari dummy load sebesar 300Watt.

Dari uji coba modul TRIAC menggunakan sumber dari PLN dan generator mengalami perbedaan yaitu pada grafik yang mendekati linier. Karena pada generator mengalami grafik yang naik turun maka menyebabkan sistem control tidak dapat bekerja secara maksimal.

### C. Hasil Pengujian Membership pada Alat dan tampilan web server

Dalam penelitian ini, tampilan web server akan digunakan untuk Mengatur parameter – parameter inputan dan outputan membership fuzzy. Dalam pengaturan tersebut membership function dapat dirubah melalui web dari perangkat yang tersambung dalam satu jaringan. Tampilan web tersebut meliputi membership function input rpm (lambat, stabil, kencang) serta membership function output PWM (rendah, sedang, tinggi) yang masing masing dapat dijadikan kurva segitiga maupun trapezium. Seperti yang ditampilkan pada hasil pengujian membership pada alat.

Pengujian sistem kendali pada bagian ini menggunakan beban nyata berupa 2 lampu 100Watt dengan masing masing percobaan mulai dari tanpa beban, 100Watt dan 200 Watt. Untuk pengujian alat ini menggunakan lampu pijar sebagai beban bayangannya (dummyload) sebesar 300Watt. Dikarenakan beban dummy load harus lebih besar dari beban nyata yang akan dikontrol. Untuk mengetahui nilai settling time baik atau tidak, menggunakan rentang waktu 0 – 60s, jika melebihi itu maka dianggap sistem control tersebut tidak efektif untuk digunakan sebagai system kontrol. Sistem penentuan parameter – parameter membership function pada bagian ini menggunakan sistem trial and error untuk mengatur kestabilan RPMnya dengan cara merubah nilai membership functionnya yang dapat dirubah langsung melalui Web SerVer yang sudah disediakan.

#### ➤ Percobaan 3 Membership Function

Rule yang digunakan pada percobaan ini terdapat 3 rule yaitu sebagai berikut:

- [R1] if kecepatan Lambat then PWM Sedang
- [R2] if kecepatan Stabil then PWM Rendah
- [R3] if kecepatan Kencang then PWM Tinggi

Berikut merupakan hasil dari pengujian alat dengan mengubah nilai dari parameter – parameter fuzzynya. Pada percobaan pertama menggunakan parameter – parameter membership fuzzy RPM dan PWM dengan nilai sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Fuzzy 3 Membership Function

Membership RPM				
Titik	A	B	C	D
Lambat	0	0	0	3000
Stabil	2100	3000	3000	4000
Kencang	3000	6000	6000	6000
Membership PWM				
Titik	A	B	C	D
Rendah	0	0	0	33
Sedang	0	130	130	255
Tinggi	191	255	255	255

**Parameter Parameter Control RPM**

**REMAP RPM**

Nilai Real Min : 0  
  
 Nilai Real Max : 600  
  
 Nilai Remap Min : 0  
  
 Nilai Remap Max : 3000

**REMAP PWM**

Nilai Real Min : 0  
  
 Nilai Real Max : 255  
  
 Nilai Remap Min : 0  
  
 Nilai Remap Max : 150

**FUZZY INPUT LAMBAT**

Nilai Titik A : 0  
  
 Nilai Titik B : 0  
  
 Nilai Titik C : 0  
  
 Nilai Titik D : 3000

**FUZZY OUTPUT LOW**

Nilai Titik A : 0  
  
 Nilai Titik B : 0  
  
 Nilai Titik C : 0  
  
 Nilai Titik D : 33

**FUZZY INPUT STABIL**

Nilai Titik A : 1800  
  
 Nilai Titik B : 2700  
  
 Nilai Titik C : 2700  
  
 Nilai Titik D : 3600

**FUZZY OUTPUT SEDANG**

Nilai Titik A : 0  
  
 Nilai Titik B : 141  
  
 Nilai Titik C : 141  
  
 Nilai Titik D : 255

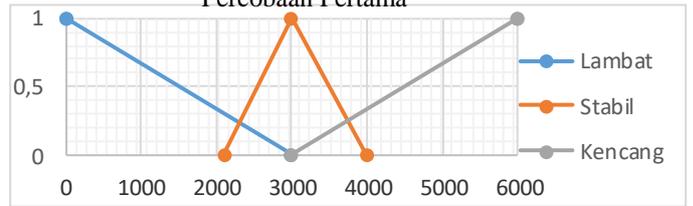
**FUZZY INPUT KENCANG**

Nilai Titik A : 3000  
  
 Nilai Titik B : 6000  
  
 Nilai Titik C : 6000  
  
 Nilai Titik D : 6000

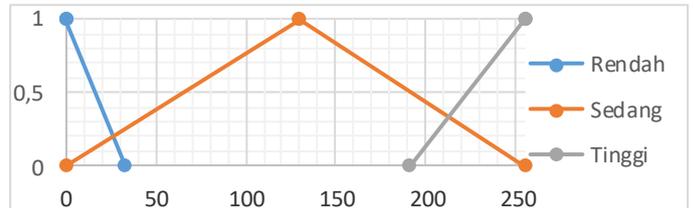
**FUZZY OUTPUT HIGH**

Nilai Titik A : 191  
  
 Nilai Titik B : 255  
  
 Nilai Titik C : 255  
  
 Nilai Titik D : 255

**Gambar 4.5** Tampilan Web Serves Membership 3 Pada Percobaan Pertama



**Gambar 4.6** RPM 3 Membership Function (1)

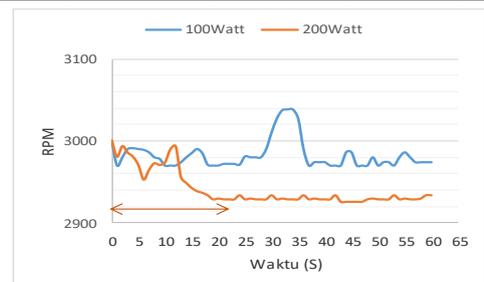


**Gambar 4.7** PWM 3 Membership Function (2)

Gambar 4.5 adalah tampilan parameter dari web server yang telah diatur sesuai membership pada table 4.1 dimana merupakan bentuk dari 3 membership RPM dan PWM. Pada membership RPM dengan kategori Lambat, Stabil dan Kencang seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.6. Pengambilan nilai dari membership tersebut didapat dari trial and error dimana kecepatan dengan set point 3000. Sedangkan gambar 4.7 merupakan bentuk dari membership function PWM dimana terdapat 3 membership function dengan kategori Rendah, Sedang, Tinggi. Pengambilan nilai dari membership tersebut didapat dari trial and error dimana nilai tersebut diambil dari range PWM yaitu 0 – 255 dan RPM 0 - 6000.

**Tabel 4.2** Hasil 3 Membership Function

Beban	Undershoot (RPM)	Overshoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	0
100 Watt	2970	3038	0,96 %	60
200 Watt	2925	2993	2,66 %	23



**Gambar 4.8** Hasil grafik pembacaan RPM 3 membership Function

Hasil percobaan yang didapatkan menggunakan sistem trial and error. Dimana didapatkan undershoot dan overshoot seperti pada tabel 4.2 dan grafik pada gambar 4.8. Pada gambar 4.8 dapat dijelaskan bahwa percobaan beban 100Watt (biru) dan beban 200Watt (orange) mengalami undershoot, overshoot dan setting time (panah) yang berbeda. Pada percobaan 100Watt mengalami respon waktu sebesar 60s dengan nilai error 0,96% dan lonjakan yang cukup banyak maka dapat dikatakan bahwa sistem control masih belum bisa menstabilkan putaran. Sedangkan pada percobaan beban 200Watt memiliki nilai RPM yang tidak dapat melewati set point dengan nilai error 2,66% namun dapat menstabilkan putaran dalam waktu 23s. Pada kedua percobaan ini fuzzy masih bekerja dengan baik, hanya saja karena modul TRIAC hanya sampai mendekati linear atau mendekati sempurna, hal tersebut menyebabkan sistem kendali pada fuzzy tidak bekerja secara maksimal. Untuk mengetahui presentase pada steady state error menggunakan rumus dibawah ini:

$$E = \frac{\text{Nilai RPM Stabil} - \text{Setpoint}}{\text{Setpoint}} \times 100$$

Namun masih tergolong mampu menstabilkan putaran generator dengan mendapatkan nilai steady state error yang dibawah 5% pada sistem control ini.

➤ Percobaan 5 Membership Function

Jika pada percobaan 3 membership hanya menggunakan 3 rule, maka dalam percobaan 5 membership ini dibuat untuk perbandingan sistem kontrol mana yang lebih baik. Rule yang digunakan pada percobaan ini terdapat 5 rule yaitu sebagai berikut:

- [R1] if kecepatan Lambat then PWM Agak Rendah
- [R2] if kecepatan Agak Lambat then PWM Sedang
- [R3] if kecepatan Stabil then PWM Rendah
- [R4] if kecepatan Agak kencang then PWM Agak Tinggi
- [R5] if kecepatan kencang then PWM Tinggi

Pada percobaan kedua menggunakan parameter – parameter membership fuzzy RPM dan PWM dengan nilai sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Fuzzy 5 Membership Function

Membership RPM				
Titik	A	B	C	D
Lambat	0	0	1200	2100
Agak Lambat	1200	2100	2100	3000
Stabil	2100	3000	3000	3900
Agak Kencang	3000	3900	3900	4800
Kencang	3900	4800	5800	6000
Membership PWM				
Titik	A	B	C	D
Rendah	0	0	0	20
Agak Rendah	0	64	64	105
Sedang	64	128	128	192
Agak Tinggi	128	192	192	255
Tinggi	235	255	255	255

**Parameter Parameter Control RPM**

**REMAM RPM**

Nilai Real Min : 0

Nilai Real Max : 600

Nilai Remap Min : 0

Nilai Remap Max : 3000

**FUZZY INPUT LAMBAT**

Nilai Titik A : 0

Nilai Titik B : 0

Nilai Titik C : 1200

Nilai Titik D : 2100

**FUZZY INPUT STABIL**

Nilai Titik A : 1800

Nilai Titik B : 2700

Nilai Titik C : 2700

Nilai Titik D : 3600

**REMAM PWM**

Nilai Real Min : 0

Nilai Real Max : 255

Nilai Remap Min : 0

Nilai Remap Max : 150

**FUZZY OUTPUT RENDAH**

Nilai Titik A : 0

Nilai Titik B : 0

Nilai Titik C : 0

Nilai Titik D : 20

**FUZZY OUTPUT SEDANG**

Nilai Titik A : 64

Nilai Titik B : 128

Nilai Titik C : 128

Nilai Titik D : 192

**FUZZY INPUT AGAK LAMBAT**

Nilai Titik A :1200

Nilai Titik B :2100

Nilai Titik C :2100

Nilai Titik D :3000

**FUZZY OUTPUT AGAK RENDAH**

Nilai Titik A :0

Nilai Titik B :64

Nilai Titik C :64

Nilai Titik D :105

**FUZZY INPUT AGAK KENCANG**

Nilai Titik A :2700

Nilai Titik B :3600

Nilai Titik C :3600

Nilai Titik D :4500

**FUZZY OUTPUT AGAK TINGGI**

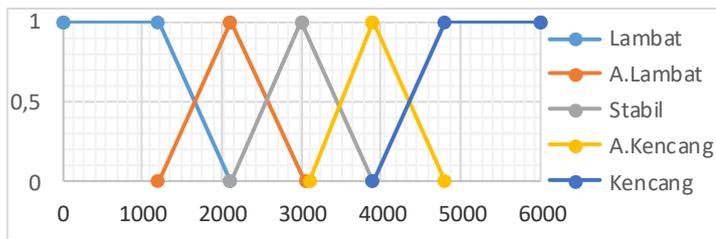
Nilai Titik A :128

Nilai Titik B :192

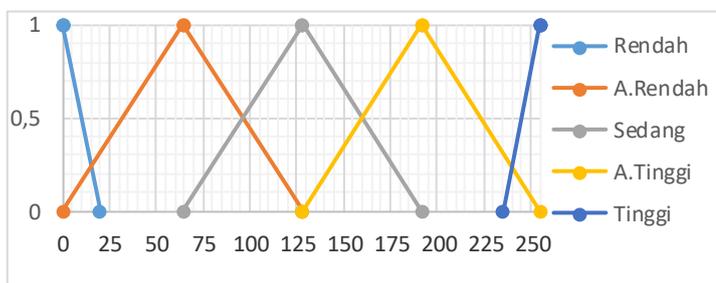
Nilai Titik C :192

Nilai Titik D :255

Gambar 4.9 tampilan web parameter fuzzy 5 membership



Gambar 4.10 RPM 5 membership function



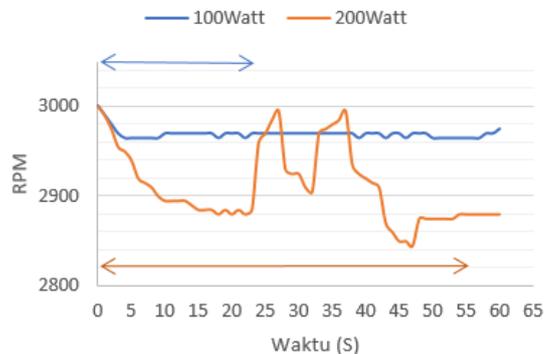
Gambar 4.11 PWM 5 membership function

Gambar 4.9 adalah tampilan parameter dari web server yang telah diatur sesuai membership pada table 4.3 dimana merupakan bentuk dari 5 membership RPM dan PWM. Pada membership RPM dengan kategori Lambat, Agak Lambat, Stabil, Agak Kencang, dan Kencang seperti

yang ditunjukkan oleh gambar 4.10. Pengambilan nilai dari membership tersebut didapat dari trial and error dimana kecepatan nilai set point diatur di 3000 RPM. Sedangkan gambar 4.11 merupakan bentuk dari membership function PWM dimana terdapat 5 membership function dengan kategori Rendah, Agak Rendah, Sedang, Agak Tinggi, dan Tinggi. Pengambilan nilai dari membership tersebut didapat dari trial and error dimana nilai tersebut diambil dari range PWM yaitu 0 – 255 dan RPM 0 - 6000.

Tabel 4.4 Hasil 5 membership function

Beban	Undershoot (RPM)	Overhoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	-
100 Watt	2965	-	1%	24
200 Watt	2845	-	5,16%	55



Gambar 4.12 Hasil pembacaan RPM 5 membership function

Hasil percobaan ini didapat dengan sistem trial and error. Dimana didapatkan undershoot dan overshoot seperti pada tabel 4.4 dan grafik pada gambar 4.12. Pada gambar 4.12 dapat dijelaskan bahwa percobaan beban 100Watt (biru) dan beban 200Watt (orange) mengalami undershoot, overshoot dan setting time (panah) yang berbeda. Pada percobaan 100Watt terjadi 1 kali lonjakan yang dapat diimbangi oleh dummy load yang dikontrol oleh fuzzy untuk kembali lagi ke nilai set point dengan rentan waktu 24s dan nilai steady state error sebesar 1%. sedangkan pada beban 200Watt tidak mengalami lonjakan namun dapat menstabilkan dalam waktu 55s dengan nilai steady state error 5,16%. Pada kedua percobaan ini fuzzy dapat bekerja dengan baik, hanya saja karena modul TRIAC hanya sampai mendekati sempurna atau mendekati linear yang menyebabkan sistem kendali pada fuzzy tidak bekerja secara maksimal. Penggunaan 5 membership ini memiliki kestabilan sangat responsive sehingga mengakibatkan nilai steady state error yang melebihi batas system kontrol. Steady state error tertinggi

di nilai 5,15% yang dikatakan tidak dapat memenuhi system control karena presentasenya diatas 5%.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kesimpulan pada penelitian ini, TRIAC (SPC1-50) dengan phase control manghasilkan output yang mendekati linier dalam pengontrolan dummy load saat menggunakan sumber generator. Berbeda dengan keluaran saat menggunakan sumber PLN yang outputannya linier. Sehingga sistem control yang digunakan tidak dapat bekerja secara maksimal karena memiliki keterbatasan daerah linier ketika input dibawah signal tegangan 2,8V. sistem pengontrolan pada dummy load belum sempurna untuk dapat dijadikan sebagai sistem kontrol pada alat yang telah dibuat.

Fuzzy logic control pada sistem ini sudah berjalan dengan baik hanya saja output yang dihasilkan kurang optimal karena modul TRIAC SPC1-50 mengalami keterbatasan daerah linier sehingga menyebabkan daya yang dikeluarkan ke dummy load tidak bekerja secara maksimal untuk dapat mengimbangi beban nyata

Dari hasil percobaan dengan 3 membership maupun 5 membership menggunakan sistem Trial & Error mendapatkan hasil yang berbeda. Pada 3 membership memiliki waktu tercepat yaitu 23s dengan nilai error 2,66% sedangkan pada 5 membership mempunyai waktu tercepat 24s dengan nilai steandystate error 1% pada percobaan 100Watt, namun percobaan 200Watt mengalami nilai error yang sangat tinggi, sehingga tidak dapat memenuhi sistem kontrol yang presentasenya 5%, sedangkan nilai steady state error yang didapatkan 5,16%

Pada bagian Web Server sudah dapat digunakan untuk mengganti parameter – parameter fuzzy logic yang akan digunakan. Parameter membership fuzzy dapat menggunakan *Membership Function* Sergitiga maupun Trapesium sesuai dengan rancangan yang akan digunakan.

Dari percobaan yang sudah dilakukan terdapat saran yang berguna untuk dapat mengembangkan penelitian yang sudah dilakukan agar dapat mengganti perangkat TRIAC (SPC1-50) dengan perangkat yang menggunakan metode binary switch serta Menambahkan perangkat IGBT untuk dapat melinierkan output pada TRIAC (SPC1-50).

## VI. REFERENSI

- [1] R. Samsinar and K. Anwar, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal)," *J. Elektrum*, Vol. 15, no. 2, pp. 33–40, 2018.
- [2] I. B. Simanjorang, I. S. Siahaan, and J. L. Hutabarat, "Studi Analisis Eksitasi dan GoVernor Untuk Mengatur Tegangan dan Frekuensi Keluaran Generator Pada PLTMH Aek Raisan I," *Telecommun. Control Syst. J. ELPOTecs* /, Vol. 4, no. 2, 2021.
- [3] F. Raditya, E. K. Wati, U. Darusalam, and E. Ariffin, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur pada Boiler Menggunakan PID dan Fuzzy Logic

Controller," *J. Ilm. GIGA*, Vol. 16, no. 2, pp. 56–64, 2013, [Online]. AVailable:

- http://journal.unas.ac.id/giga/article/View/636.
- [4] A. Hafid, A. Faharudin, P. Studi, T. Elektro, and U. Muhammadiyah, "Simulasi Pengendali Beban Elektronik Berbasis Logika Fuzzy untuk PLTMH Daya Rendah," *J. Cilitron*, Vol. 4, 2021, [Online]. AVailable: http://103.114.35.30/index.php/cyclotron/article/View/6324.
- [5] D. P. Anggriani and R. Effendie, "Pengendalian Frekuensi Dengan Menggunakan Kontrol Fuzzy Prediktif Pada Simulator Plant Turbin-Generator Pada Pltu," *J. Tek. ITS*, Vol. 1, no. 1, pp. A72–A77, 2012.
- [6] N. A. Farianto, "Pegendalian Temperatur Uap Superheater Menggunakan Kontroler Pi-Fuzzyauto-Tunerpada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu)," 2018.
- [7] N. Cameron, *Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32*. 2021.
- [8] F. Kurniawan, Y. Z. Maulana, and R. F. Christianti, "Sistem Kendali LeVel Ketinggian Air Berbasis Fuzzy Control Menggunakan Simulink," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, Vol. 21, no. 1, pp. 17–30, 2022, doi: 10.31358/techné.V21i1.287.
- [9] A. Indra Rizkianto, E. Endryansyah, B. Suprianto, and P. Wanarti Rusimanto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Tracking Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic Controller Berbasis ESP32," *J. Tek. Elektro*, Vol. 11, no. 1, pp. 126–135, 2022.

## VII. BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Tuban tanggal 05 Desember 1997, alat email [1912083@scholar.itn.ac.id](mailto:1912083@scholar.itn.ac.id) Penulis menempuh pendidikan dari SDN Latsari Tuban lulus pada tahun 2010 kemudian melanjutkan di SMPN1 Singosari malang lulus pada tahun 2013 kemudian melanjutkan di SMAN1 Singosari jurusan IPA dan lulus pada tahun 2016, Penulis melanjutkan menempuh pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di perguruan tinggi Institut. Penulis menyelesaikan studi ini dengan judul "PENGENDALI PUTARAN TURBIN UAP BERBASIS FUZZY MENGGUNAKAN ESP32 PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH SKALA MIKRO KAMPUS-II ITN MALANG"

