

**DESIGN OF AUTOMATIC WATERING MONITORING TOOLS ON
CHERRY TOMATO PLANT USING FUZZY LOGIC METHOD BASED
ON INTERNET OF THINGS (IoT)**

Thesis

By

Shinta Amalia Paradita



**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE
UNIVERSITY OF LAMPUNG**

2025

ABSTRACT

DESIGN OF AUTOMATIC WATERING MONITORING TOOLS ON CHERRY TOMATO PLANT USING FUZZY LOGIC METHOD BASED ON INTERNET OF THINGS (IoT)

By

Shinta Amalia Paradita

This research has realized an Internet of Things (IoT)-based automatic watering monitoring tool that uses the fuzzy logic method to determine the duration of watering cherry tomato plants based on soil moisture and air temperature parameters. The purpose of this research is to design an automatic watering system by applying the fuzzy logic method and monitoring soil moisture, air temperature, and watering duration. This monitoring tool uses NodeMCU ESP32 as a microcontroller with a YL-69 sensor to measure soil moisture with an accuracy of 97.21% and a DHT11 sensor to measure air temperature which has an accuracy of 99.37% and the results of the application of the fuzzy logic method in this study, obtained an average accuracy value of 98.35%. Based on the research results, this tool can run well and can be monitored using the maritumbuhbersama.my.id website, with an average fuzzy logic data transmission delay to the database of 0,94 seconds. This tool works by turning on the water pump at 08.00 and 16.00 with a watering duration determined based on fuzzy logic calculations. The water pump will turn on at a predetermined time, while the fuzzy logic system will adjust the watering duration according to soil moisture and air temperature in cherry tomato plants.

Keyword: Fuzzy logic, NodeMCU ESP32, watering duration, air temperature

ABSTRAK

DESAIN ALAT MONITORING PENYIRAMAN OTOMATIS PADA TANAMAN TOMAT CERI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)

Oleh

Shinta Amalia Paradita

Penelitian ini telah merealisasikan alat monitoring penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan metode fuzzy logic untuk menentukan durasi penyiraman tanaman tomat ceri berdasarkan parameter kelembapan tanah dan suhu udara. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem penyiraman otomatis dengan menerapkan metode fuzzy logic serta memonitoring kelembapan tanah, suhu udara, dan durasi penyiraman. Alat monitoring ini menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler dengan sensor YL-69 untuk mengukur kelembapan tanah dengan akurasi sebesar 97,21% dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu udara yang memiliki akurasi sebesar 99,37% serta hasil penerapan metode fuzzy logic pada penelitian ini, diperoleh nilai akurasi rata-rata sebesar 98,35%. Berdasarkan hasil penelitian, alat ini dapat berjalan dengan baik dan dapat di monitoring menggunakan website maritumbuhbersama.my.id, dengan rata-rata delay transmisi data fuzzy logic ke database sebesar 0,94 detik. Alat ini bekerja dengan menyalakan pompa air pada pukul 08.00 dan 16.00 dengan durasi penyiraman yang ditentukan berdasarkan perhitungan fuzzy logic. Pompa air akan menyala pada waktu yang telah ditetapkan, sementara sistem fuzzy logic akan menyesuaikan lama penyiraman sesuai dengan kelembapan tanah dan suhu udara pada tanaman tomat ceri.

Kata kunci: Fuzzy logic, NodeMCU ESP32, durasi penyiraman, suhu udara

**DESIGN OF AUTOMATIC WATERING MONITORING TOOLS ON
CHERRY TOMATO PLANT USING FUZZY LOGIC METHOD BASED
ON INTERNET OF THINGS (IoT)**

By

SHINTA AMALIA PARADITA

Thesis

**As One of the Requirements to Achieve the Degree
SARJANA SAINS**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Science
University of Lampung**



**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE
UNIVERSITY OF LAMPUNG
LAMPUNG
2025**

Title of Thesis : Design of Automatic Watering Monitoring Tools
on Cherry Tomato Plant Using Fuzzy Logic Method
Based on Internet of Things (IoT)

Student's Name : Shinta Amalia Paradita

Student Identity Number : 2017041006

Department : Physics

Faculty : Mathematics and Natural Science

Approved

1. Supervising Commission

Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si

NIP. 197108291997032001

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng

NIP. 197109092000121001

2. Chairman of the Physics Department FMIPA

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng

NIP. 197109092000121001

AUTHORIZE

1. Examiner Team

Chairman

: Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si

Secretary

: Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng

Examiner

not Supervisor

: Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc

2. Dean of The Faculty of Mathematics and Natural Sciences



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Date Passed Thesis Examination: February 26, 2025

STATEMENT

I hereby declare that in this thesis there is no work that has been done by other people and to the best of my knowledge there are no works or opinions written or published by other people except those that are written referred to in this manuscript as mentioned in the bibliography. In addition, I also declare that this thesis is made by myself. If any of my statements are not true, then I am willing to be sanctioned in accordance with applicable law.

Bandar Lampung, 21 April 2025



Shinta Amalia Paradita
NPM. 2017041006

LIFE HISTORY



The author was born in Bandar Lampung, Lampung Province on June 09, 2002 as the first of two children of the late Mr. Suparno and Mrs. Usnawati. The author started Elementary School Kutajaya II in 2008-2014, then continued her Junior High School 2 Pasar Kemis in 2014-2017. The author continued her High School 13 Kabupaten Tangerang in 2017-2020. The author was enrolled as a student of the Department of Physics FMIPA, University of Lampung through the Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) in 2020. During her time as a student, the author was active as a member of Communication and Information (Kominfo) of the Physics Student Association (Himafi) in 2021-2022 and as Administrative Staff of the University of Lampung Student Cooperative in 2022. The author took Praktik Kerja Lapangan (PKL) activities at Pusat Riset Konversi dan Konversi Energi (PRKKE) of the Research and Innovation Agency (BRIN) Serpong with the title “Development of a Two-Wheeled Vehicle Charging Station (CS) System Using SteVe and OCPP Protocol” and carried out a Kuliah Kerja Nyata (KKN) in Kedondong Village, Pasar Baru District, Pesawaran Regency. Then in August 2024 - January 2025, the author participated in Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) program, namely Bangkit Academy.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Cukuplah Allah sebagai penolong dan Dia adalah sebaik-baik pelindung”

(QS. Ali ‘Imran: 173)

PRESENTATION

With full gratitude to Allah SWT, I dedicate this thesis to:

Alm. Mr. Suparno and Mrs. Usnawati

My parents who always pray, try, and become my encouragement in living my life.

Lecturers of Physics FMIPA UNILA

Thank you for the knowledge, guidance, and advice that has been given.

Big Family

Thank you for all the prayers and support that never breaks up.

Friends of Physics 2020

Thank you for the togetherness that has been passed during college in Lampung.

Beloved Almamater

University of Lampung

PREFACE

Praise be to Allah SWT. God Almighty so that the author can complete the thesis entitled “Design of Automatic Watering Monitoring Tools on Cherry Tomato Plant Using Fuzzy Logic Method Based on Internet of Things (IoT)”. With all humility, the author realizes that the preparation of this thesis still has errors and is far from perfect. Therefore, constructive criticism and suggestions are expected to improve this thesis. Hopefully this thesis is useful not only for the author, but also for the readers.

Bandar Lampung, 21 April 2025

Shinta Amalia Paradita

SANWACANA

All praise is due to Allah SWT who has given His guidance and guidance so that the author can complete the thesis with the title “**Design of Automatic Watering Monitoring Tool on Cherry Tomato Plant Using Fuzzy Logic Method Based on Internet of Things (IoT)**”. In preparing this thesis, the author realizes that there are many obstacles and difficulties faced, but thanks to the help and support of various parties, finally the author can complete this thesis. The author would like to thank:

1. Alm. Mr. Suparno and Mrs. Usnawati and extended family who have been a source of enthusiasm, motivation, and endless prayers in every step of the author's dream.
2. Mrs. Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si., as the first supervisor who has guided, provided knowledge, and direction in the process of preparing the thesis.
3. Mr. Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., as the second Supervisor who has provided knowledge and guidance in writing the thesis.
4. Mr. Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., as the examining lecturer who has provided advice and input so that the writing of this thesis becomes better.
5. Mr. Prof. Posman Manurung, B.Sc., M.Si., Ph.D., as academic supervisor who has provided guidance during the author's time as a student at the University of Lampung.

6. All Lecturers of the Department of Physics FMIPA University of Lampung who have provided valuable knowledge and experience during the lecture period.
7. The staff of the Department of Physics who have helped the author in all administrative and academic needs during the author's studies at the University of Lampung.
8. Mrs. Cik Darwanah and Mr. Muji who have helped the author in completing the thesis.
9. Atu Afifah, Atu Dwina, Atu Eka, and Atu Asya who always direct and help the author in preparing the thesis.
10. Friends in arms, Devi, Irma, Ati, Mentari, Agriffa, Oktavia, Rana, Ninis, Bella, Ida, Indah, Ika, Fauzi, and Marsel who have been friends sharing joy and sorrow during the author's studies.
11. Friends outside the campus, Isno, Rizal, Nata, Mutiara Windia, Fajar, Inas, Mareta, Sakhda, and Sylva who are always present to provide motivation, support, and enthusiasm when the author is experiencing difficulties.
12. Physics Class of 2020 friends who have been part of this journey and provide meaningful enthusiasm and support.

May Allah SWT be able to repay all kindness with a better one and make all affairs easier.

Bandar Lampung, 21 April 2024
Author,

Shinta Amalia Paradita

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
APPROVAL SHEET	v
AUTHORIZE	vi
STATEMENT.....	vii
LIFE HISTORY	viii
MOTTO	ix
PRESENTATION	x
PREFACE	xi
SANWACANA	xii
TABLE OF CONTENTS.....	xiv
LIST OF FIGURES	xvii
LIST OF TABLES	xix
I. INTRODUCTION	
1.1 Background.....	2
1.2 Problem Formulation.....	4
1.3 Research Objectives	4
1.4 Benefits of Research.....	4
1.5 Problem Limitation.....	4
II. LITERATURE REVIEW	
2.1 Related Research	5
2.2 Theoretical Foundation.....	7
2.2.1 Internet of Things (IoT).....	7
2.2.2 Cherry Tomato	8
2.2.3 Fuzzy Logic.....	10
2.2.4 Espressif Systems Processor 32-bit (ESP32)	21

2.2.5	DHT11 Temperature Sensor	23
2.2.6	Soil Moisture Sensor YL-69	25
2.2.7	Relay.....	28
2.2.8	Liquid Crystal Display (LCD).....	30
2.2.9	Arduino IDE Software	31
2.2.10	Soil Moisture.....	33

III. RESEARCH METHOD

3.1	Location and Time of Implementation	34
3.2	Tools and Materials of Research	34
3.2.1	Tools.....	34
3.2.2	Materials.....	35
3.3	Research Procedure	36
3.4	Device Design	38
3.5	Software Design	42
3.6	Website Development.....	44
3.7	Device Testing.....	45
3.8	Fuzzy Logic Development	48

IV. RESULTS AND DISCUSSION

4.1	System Design	57
4.2	Testing and Calibration of YL-69 Sensor.....	59
4.3	DHT11 Sensor Testing and Calibration	63
4.4	Fuzzy Logic Testing	66
4.5	Testing the Monitoring System Website	76
4.6	Analysis of Monitoring System of Fuzzy Logic Method.....	76
4.6.1	Monitoring Results using PhpMyAdmin	77
4.6.2	Monitoring Results Using the Website	77
4.7	System Implementation on Cherry Tomato Plants.....	79

V. CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

5.1	Conclusions	82
5.2	Suggestions.....	82

REFERENCE

ATTACHMENT

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 2.1 IoT Devices.....	7
Figure 2.2 Cherry Tomato.....	9
Figure 2.3 Triangular Membership Function	12
Figure 2.4 Trapezoidal Membership Function.....	12
Figure 2.5 Soil Moisture Membership Function Graph.	14
Figure 2.6 Membership Set Graph of Temperature	15
Figure 2.7 Timer Membership Function Graph	16
Figure 2.8 Center of Area Values for Timer Membership Functions	20
Figure 2.9 ESP32 30 GPIO Pin Configuration	22
Figure 2.10 DHT11 Temperature Sensor.....	23
Figure 2.11 Humidity Sensing Component.....	24
Figure 2.12 NTC Thermistor Characteristics.....	25
Figure 2.13 YL-69 Soil Moisture Sensor	26
Figure 2.14 YL-69 Sensor Module	26
Figure 2.15 Relay	29
Figure 2.16 Liquid Crystal Display (LCD)	30
Figure 2.17 Arduino Software.....	32
Figure 3.1 Research Flowchart.....	37
Figure 3.2 Block Diagram.....	38
Figure 3.3 DHT11 Circuit	39
Figure 3.4 YL-69 Sensor Circuit.....	39
Figure 3.5 LCD Circuit	40
Figure 3.6 Relay and Pump Circuit.....	40
Figure 3.7 Automatic Irrigation Device Schematic	41

Figure 3.8 3D Automatic Irrigation Schematic	42
Figure 3.9 Automatic Irrigation Flowchart	43
Figure 3.10 Second Website Display	45
Figure 3.11 Soil Moisture Membership Graph	49
Figure 3.12 Temperature Membership Graph.....	50
Figure 3.13 Watering Duration Membership Graph	51
Figure 3.14 Fuzzy Rule Results	53
Figure 3.15 Fuzzy Rule Composition Results.....	54
Figure 3.16 Center of Area for Watering Duration	56
Figure 4.1 Internal View of the Monitoring Device.....	57
Figure 4.2 External View of the Monitoring Device.....	58
Figure 4.3 Placement of Monitoring Tools	59
Figure 4.4 (a) Dry soil mass; (b) Wet soil mass.....	60
Figure 4.5 YL-69 Sensor Testing.....	60
Figure 4.6 YL-69 Sensor Testing Graph with ASM Method.....	63
Figure 4.7 DHT11 Calibration	64
Figure 4.8 DHT11 Sensor Testing Graph with Temperature Meter	65
Figure 4.9 Soil Moisture Membership Graph.....	67
Figure 4.10 Temperature Membership Graph.....	68
Figure 4.11 Watering Duration Membership Graph	69
Figure 4.12 Temperature Membership Function.....	70
Figure 4.13 Soil Moisture Membership Function	71
Figure 4.14 Proof of Matlab Calculation	75
Figure 4.15 Database PhpMyAdmin.....	77
Figure 4.16 Website Initial View	78
Figure 4.17 Graph View on Website.....	78
Figure 4.18 Fuzzy Table View on Website	79
Figure 4.19 Cherry Tomato Field.....	80
Figure 4.20 Cherry Tomato Growth under Control (a) 8 weeks of age; (b) 9 weeks of age; (c) 11 weeks of age.....	80
Figure 4.21 Cherry Tomato Growth without Control (a) 8 weeks of age; (b) 9 weeks of age; (c) 11 weeks of age.....	81

LIST OF TABLES

	Page
Table 2.1 Soil Moisture Membership Set.....	13
Table 2.2 Temperature Membership Set	15
Table 2.3 Membership Set of Timer	16
Table 2.4 Area and Center of Area Values.....	20
Table 2.5 Specifications of NodeMCU ESP32	22
Table 2.6 DHT11 Sensor Specifications	24
Table 3.1 Software	35
Table 3.2 Hardware	35
Table 3.3 Materials	36
Table 3.4 YL-69 Sensor Accuracy Testing Data.....	45
Table 3.5 Air Temperature Sensor Accuracy Testing Data	46
Table 3.6 Website Testing Data	46
Table 3.7 Fuzzy Logic Testing Data	47
Table 3.8 Soil Moisture Membership Function.....	48
Table 3.9 Air Temperature Membership Function.....	50
Table 3.10 Membership Function for Watering Duration.....	51
Table 3.11 Fuzzy Logic Rules.....	52
Table 3.12 Area and Midpoint Value	56
Table 4.1 Testing the ADC value of the YL-69 Sensor with the ASM Method ..	61
Table 4.2 Testing the YL-69 Sensor with the ASM Method	62
Table 4.3 DHT11 Sensor Testing.....	65
Table 4.4 Fuzzy Logic Testing.....	66
Table 4.5 Soil Moisture Membership	67
Table 4.6 Air Temperature Membership	68

Table 4.7 Watering Duration Membership Set (Kurniawan, 2020)	69
Table 4.8 Fuzzy Rule Making	73
Table 4.9 Rule Area and CoA	74
Table 4.10 Fuzzy Logic Transmission Data to MySQL Database.....	76

I. INTRODUCTION

1.1 Background

Cherry tomatoes are one type of tomato that has a small size when compared to vegetable tomatoes. The vegetable, known by the scientific name *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*, was first cultivated in South America. Cherry tomatoes have a small size with a diameter of 3-6 cm. The color of cherry tomatoes is usually bright red to yellowish. Cherry tomatoes are high in vitamins and minerals that can boost the body's immunity. The highest content of vitamins in cherry tomatoes are vitamin A and vitamin C, which play a major role in many bodily functions. Some characteristics of cherry tomatoes include; good quality cherry tomatoes weigh 10-20 grams. The optimal temperature required for cherry tomato growth ranges from 24°-30°. In addition, the humidity required for growth is 80% and these tomatoes can usually grow at an altitude of 1000-1200 meters above sea level (Harfina and Zaini, 2021).

Cherry tomatoes are one of the vegetable crops that are very sensitive to water shortage. Efforts to overcome the availability of water for cherry tomato plants are carried out, among others, through the use of water-saving irrigation systems for limited water efficiency in crop cultivation (Maulana and Idrus, 2010). The problem that arises in the cultivation of cherry tomatoes lies in the lack of moisture content in the soil and air temperature so that sufficient water is needed (Kasiran, 2003). The effect of the lack of water content at a percentage of 50-55% for the quality of growth will have an impact on the concentration of salt in the fruit, and low yields (number of fruits, size, etc.), while with normal water content of 60-65% and 70-75% and soil that has a water content of 80-100% has a better fruit yield with a

a lower shelf life (Alordzinu, 2021).

Soil moisture content is one of the biggest influences on cherry tomato growth. Despite this, watering cherry tomato plants is still done manually. As a horticultural crop, cherry tomatoes require careful maintenance, including proper and scheduled watering. However, farmers' busy schedules often prevent them from doing manual watering because sometimes they do not have time to water plants that need water. This condition can have a negative impact on the growth and yield of these plants. On the other hand, the use of an automatic watering system has several advantages that can overcome the problem of manual watering. With automatic watering, the amount of water applied can be adjusted more precisely according to the needs of the plants, and the watering schedule can be programmed to maintain optimal soil moisture. This can help reduce the risk of drought or excess water that can be detrimental to the growth and yield of cherry tomato plants (Al-Hakim et al., 2023).

Research conducted by Latif (2021) on automatic watering using soil moisture sensors and temperature sensors and research conducted by Fadhilah et al (2021) on the design of an Internet of Things-based automatic watering device with WhatsApp notifications. Both of these systems have been successfully developed. However, the shortcoming of the two studies is that there is no watering duration. Although water only flows when the soil moisture is below the threshold, these two systems do not take into account the duration of watering. As a result, water will continue to flow even when the soil is sufficiently moist. This condition can hinder plant growth. Both systems are unable to adjust to the actual conditions and water requirements needed by the plants, leading to water wastage. To overcome this, the fuzzy logic method is an effective solution. Fuzzy logic will process soil moisture and air temperature values as inputs and will later obtain an output in the form of watering duration. By using this method, uncertainty in environmental conditions such as air temperature and soil moisture can be handled properly. Fuzzy logic helps save water, reduce water waste, and ensure plants get enough water to grow properly (Rahmawati, et al., 2021). As a branch of Artificial Intelligence, fuzzy logic has a function to “mimic” human intelligence to do something and implement

it into a device, including in an automatic watering system (Sanca, 2018). Thus, fuzzy logic plays an important role in handling uncertain conditions in crop management, such as soil moisture levels, temperature, and water requirements (Mursalin et al., 2020).

There are several studies on automatic watering tools that use the Fuzzy Logic method, temperature sensors, and soil moisture that have previously been carried out, namely the implementation of an automatic plant watering tool based on the Internet of Things using the fuzzy logic method in the Artawi Flora garden (Fauzi and Ardiansyah, 2022). In this research, the automatic plant watering tool uses NodeMCU ESP8266, YL-69 sensor to measure soil moisture and DHT11 sensor to measure air temperature. This research uses the fuzzy logic method as a control system to control the on/off of the water pump. Then an automatic plant watering system based on soil moisture sensors using fuzzy logic (Mursalin et al., 2020), in this study using Arduino uno as a controller, soil moisture sensor to measure soil moisture, Liquid Crystal Display (LCD) to display soil moisture values. This system also uses fuzzy logic method to regulate the duration of watering and pump speed in watering. Another research is an automatic plant watering system using DHT11 sensors (Jumingin et al., 2022), this system uses ESP32 as the main control system and uses DHT11 sensors to detect temperature and humidity around plants.

Based on the above research, this research aims to develop an automatic watering system that utilizes Fuzzy Logic based on the Internet of Things (IoT) which is used to determine the duration of watering time in cherry tomato plants. This research will be equipped with ESP32 as the central device for the control system. The YL-69 sensor will be used to detect the soil moisture level, while the DHT11 temperature sensor will be used to measure the soil temperature. In this automatic watering system, the water flow will be controlled through the use of a relay connected to a water pump. The measurement results will be processed by ESP32 and can be accessed through laptop and smartphone devices via the website.

1.2 Problem Formulation

The problem formulation in this research is as follows.

1. How to design and make an automatic watering device for cherry tomato plants using ESP32, DHT11, and YL-69 sensors based on the Internet of Things (IoT)?
2. How to apply the fuzzy logic method to determine the duration of watering time in cherry tomato plants?

1.3 Research Objectives

The objectives of this research are as follows.

1. Using ESP32 microcontroller as a control system for automatic plant watering system.
2. Using DHT 11 and YL-69 sensors to measure air temperature and soil moisture.
3. Applying fuzzy logic method to determine the duration of watering that will be displayed on the website.

1.4 Benefits of Research

The benefits of this research are as follows.

1. Can help modern farmers monitor and manage cherry tomato plants more efficiently.
2. Facilitate the process of automatic plant watering on the farm.
3. Make it easier for modern farmers to minimize energy and costs for watering.

1.5 Problem Limitation

The problem limitations of this research are as follows.

1. The microcontroller used is ESP32..
2. Monitoring tomato plants using the website.
3. Only focuses on monitoring and controlling the watering system for cherry tomato plants.
4. LCD display only displays soil moisture and air temperature data.

II. LITERATURE REVIEW

2.1 Related Research

Related research conducted by (Fauzi and Ardhiansyah, 2022) is the implementation of an automatic plant watering tool based on the Internet of Things using the fuzzy logic method in the artawi flora garden. The research uses the mamdani fuzzy logic method as a method for system control. This method is used to deal with problems that contain elements of uncertainty and this method is very flexible and has tolerance for data and is more intuitive which can be accepted by many parties. The fuzzy logic method has several stages, namely fuzzification, inference, and defuzzification where the result of defuzzification is 98.96. The research applied 2 inputs, namely soil moisture and temperature and 1 output, namely the water pump in fuzzy logic. The development method used in this research is the prototype method.

Then an automatic plant watering system based on soil moisture sensors using fuzzy logic (Mursalin et al., 2020). The research aims to apply fuzzy logic to the automation of plant watering based on soil moisture. The research was carried out by designing, making and implementing system components which include Arduino uno as a controller, water pump, Liquid Crystal Display (LCD) to display soil moisture values. The results of soil moisture testing when the water volume is 80 ml, the sensor value is 772.3 and the soil moisture value is 24.5%. In the study, 20 tests were carried out and test results were obtained where when the dry soil is worth 3.21%, the watering time is long and the pump will turn on and water according to the length of watering time. Then if the soil is wet worth 50.19%, then the plant will not be watered and the pump will not turn on.

Automatic watering system on plants with Internet of Things (IoT) based monitoring (Ardiansah et al., 2023). This research aims to build a smart farming system using the Internet of Things, namely automatic plant watering. The research

uses NodeMCU as the brain of the system, relays to turn on and off the water pump, Liquid Crystal Display (LCD) to display soil and pump conditions, Blynk to monitor sensor data and email for chili plant watering time information. The result of this research is that this tool runs well. When the soil moisture condition is less than 60%, the chili plant watering process will run automatically. While the soil conditions between 60% - 70% the automatic chili plant watering process does not run, but can be run with the application. For soil conditions of more than 70%, both automatic and manual (application) watering of chili plants does not run.

Automatic plant watering system using DHT11 sensor (Jumingin et al., 2022), this research uses the field experiment method, where the design made adjusts to the situation in the field. The research uses Arduino IDE software and ESP32 as the main control system that will manage all input and output components. The wifi-based ESP32 programmed with the C programming language uses the Arduino IDE software to send commands to the DHT11 sensor, 16x2 I2C LCD, and relays. The command received by the relay is to turn the water pump on and off. The water pump is connected to the relay and electric current directly. The data read by the sensor will also be received by the microcontroller and then forwarded to the relay. The DHT11 sensor is used to detect the air temperature around the plant, the output will be displayed on the 16x2 I2C LCD screen so that the user can see the air temperature value in real time. The DHT11 output will also send an on/off command to the relay. The result of this research is that the relay will turn on automatically when the DHT11 sensor detects an air temperature of more than 30°C and at that time the pump will automatically drain the water. When the DHT11 sensor detects an air temperature $\leq 30^{\circ}\text{C}$ the relay will automatically turn off and the water pump will not turn on so the water will stop flowing.

Design and development of an automatic watering system based on the Internet of Things with WhatsApp notification (Fadhilah et al., 2021). In this study, the ESP32 microcontroller was used along with the YL-69 soil moisture sensor and DHT11 temperature sensor to measure soil moisture levels. The results of these measurements are sent to the owner's smartphone in the form of WhatsApp

notifications. A keypad was used in the system to set the desired moisture level, which can be adjusted for different types of plants. When the sensor detects that the soil is dry, the ESP32 instructs the relay to activate the water pump and water the plants. The test results of the study showed that the automatic watering system worked properly and successfully delivered soil moisture information through WhatsApp. Based on testing and QoS (Quality of Service) analysis, the best QoS values were obtained during free hours in the early morning, with the lowest delay at 1.895 seconds, the highest throughput at 2241.7667 bps, and the lowest packet loss at 0%.

2.2 Theoretical Foundation

2.2.1 Internet of Things (IoT)

Internet of Things, also known as IoT, is a concept that aims to expand the benefits of continuously connected internet which allows machines, equipment, and other physical objects to be connected with sensors, networks, and actuators in order to obtain data and manage their own performance, thus enabling machines to collaborate and even act based on new information obtained independently.

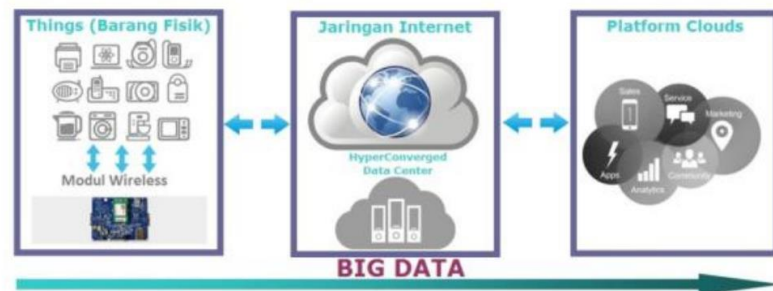


Figure 2.1 IoT Devices (Efendi, 2018)

From **Figure 2.1**, it is stated that basically IoT devices consist of sensors as data collection media, internet connection as communication media, and servers as the information collector received by the sensors and to be processed. The initial idea of the Internet of Things was first introduced by Kevin Ashton in 1999 in one of his presentations. Many predict that the impact of the Internet of Things is “The Next

Big Thing” in the world of information technology, because IoT offers a lot of potential to be explored (Efendi, 2018).

The way IoT works is that every object must have an Internet Protocol (IP) address. The Internet Protocol (IP) address is an identity in the network that allows the object to be controlled from other objects within the same network. Furthermore, the IP address in those objects will be connected to the internet. Currently, internet connection is very easy to obtain. Thus, users can monitor objects or even give commands (remote control) to those objects via internet connection. After an object has an IP address and is connected to the internet, a sensor is also installed in the object. The sensor in the object allows it to obtain the necessary information. After obtaining the information, the object can process the information itself, even communicate with other objects that have IP addresses and are also connected to the internet. There is an exchange of information in the communication between these objects. After the information processing is completed, the object can operate independently, or even instruct other objects to also operate. This is the advantage of IoT (Wilianto and Kurniawan, 2018).

2.2.2 Cherry Tomato

Cherry tomato is an annual plant that reproduces within one year or one season. It is a shrub-shaped plant with round and soft stems. When young, the stems are easily broken, but as they mature, they become hard and woody. The entire surface of the stem is covered with fine hairs. Cherry tomato plants have indeterminate stem growth. The leaves of cherry tomatoes are generally broad, pinnately compound, alternate, and hairy on the surface. Cherry tomatoes have a taproot system with branched roots. The physical characteristics of cherry tomatoes are smaller in size than regular tomatoes, with a bright red color. Cherry tomatoes have a glossy red surface. They are round in shape with a diameter of 3–6 cm. Cherry tomatoes are rarely used by the Indonesian public. However, these tomatoes contain various highly beneficial nutrients. The nutritional content of cherry tomatoes per 100

grams of edible portion consists of energy, protein, fat, carbohydrates, fiber, sodium, and potassium. Cherry tomatoes are rich in vitamin A and vitamin C. They also contain lycopene, which is beneficial for heart health and the circulatory system. Cherry tomatoes can be processed into salads, raw vegetables, and garnishes. In addition to food preparations, they can also be used in beverages such as juice or infused water (Sasongko et al., 2021).

Cherry tomatoes are suitable for planting at an altitude of 600–1,500 meters above sea level with a temperature range of 17–28°C (Trubus Editorial, 2021). Water requirements for cherry tomato plants vary each week, and efficient management can help reduce water waste caused by over- or under-supply. If the water content is only 50–55%, the fruit quality will be affected, with increased salt concentration, lower yields (in terms of quantity and size), and overly dense fruit texture. Meanwhile, more optimal water content, namely 60–65% and 70–75%, as well as soil conditions with 80–100% water content, produce fruit with better quality, although with shorter shelf life (Al-Hakim et al., 2023). The appearance of cherry tomatoes can be seen in **Figure 2.2**.



Figure 2.2 Cherry Tomato (Bibitbunga, 2023)

Caring for cherry tomato plants is actually quite easy and similar to caring for other plants, as follows:

1. Creating Plant Supports

To ensure the plant can stand upright and grow well, a plant support or stake needs to be made. The support can be made from wood, bamboo, or plastic sticks. The support or stake should be installed when the plant has grown approximately 15–21 cm. Don't forget to give a distance of about 5–11 cm between the plant and the support.

2. Watering

Care for cherry tomato plants by watering them regularly depending on the condition of the planting medium. If the medium tends to be dry, then water the plant twice a day, in the morning and also in the afternoon.

3. Pruning Side Shoots

Pruning the side shoots is done so that the cherry tomato plant can grow slanted, and the pruning should be done between the leaf axils. If the plant has produced approximately 5–7 tomatoes, the tip of the plant's shoot can be cut so that the plant will produce even more tomatoes.

4. Fertilization

To achieve maximum yield, carry out fertilization regularly every 10 days in the morning or afternoon. Avoid watering and fertilizing during the daytime so that the plant can adapt more easily (Nurwijayo, 2023).

2.2.3 Fuzzy Logic

Fuzzy Logic was first introduced by Prof. Lotfi Zadeh in 1965, an Iranian who became a professor at the University of California. The basic idea of fuzzy sets includes inclusion, union, intersection, complement, relation, and convexity. Lotfi Zadeh stated that the integration of fuzzy logic into information systems and process engineering results in applications such as decision-making systems beyond

just yes (logic 1) and no (logic 0). Therefore, fuzzy logic is fundamentally different from conventional programming logic (Nasution, 2020). Fuzzy logic is a field within logic that uses degrees of membership in a set, so membership is not limited to values of true or false. Etymologically, the term “fuzzy” refers to ambiguity, uncertainty, and gray areas. Terminologically, it is a form of knowledge representation that suits humanistic conditions, which cannot be precisely addressed but must be adapted to the context (Rindengan and Langi, 2016).

The Mamdani Fuzzy Method is one of the methods used in decision support systems, which has advantages such as being more intuitive, widely accepted by many parties, and capable of forecasting in the statistical field. The Mamdani Fuzzy Method is also known as the MIN-MAX method. The Mamdani Fuzzy Method has advantages such as being more intuitive, widely accepted, applicable in the statistical field, producing outputs that are closer to reality, very flexible, and having tolerance to existing data. It provides a more efficient approach using numbers compared to other forecasting methods (Muntahanah et al., 2021). This method was introduced by Ebrahim Mamdani in 1975. To obtain the output, four stages are required, including:

1. Fuzzy Set Formation or Fuzzification

In the Mamdani method, both input and output variables are divided into one or more fuzzy sets, and each input and output variable contains linguistic variables (Kusumadewi and Purnomo, 2004). Fuzzification is the process of converting input values that are classical sets (crisp sets) into fuzzy values in the form of linguistic variables and membership degrees (Pratama et al., 2013). The membership degree values are calculated according to the form of the membership function. The membership function used is triangular and trapezoidal shapes, as shown in **Figure 2.3** and **Figure 2.4**.

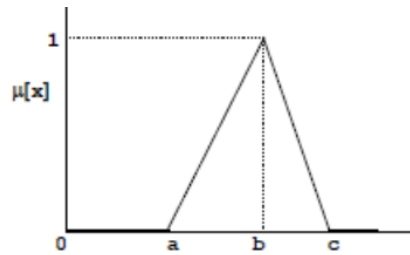


Figure 2.3 Triangular Membership Function (Rindengan and Langi, 2016)

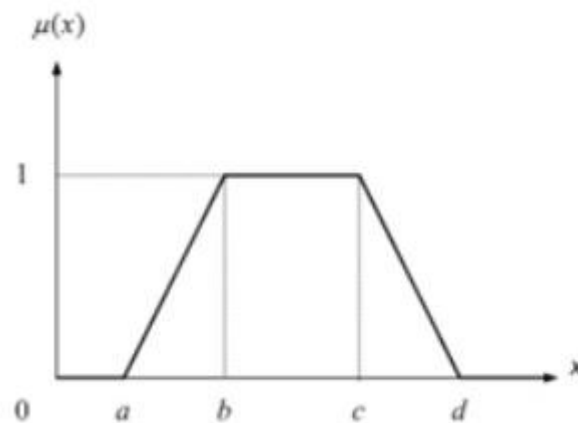


Figure 2.4 Trapezoidal Membership Function (Asriyanik and Tarwati, 2020)

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

In the Mamdani Method, after obtaining the input and output variables, the next step is to determine the application of the implication function. The implication function is useful for determining the relationship between the premises and their conclusions (Febriany, 2017). The general form of the rule used in the implication function is:

IF x is A THEN y is B

Where x and y are crisp values, and A and B are fuzzy sets. The proposition following **IF** is called the antecedent, while the proposition following **THEN** is called the consequent. This proposition can be extended using fuzzy operators, such as:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \bullet (x_2 \text{ is } A_2) \bullet (x_3 \text{ is } A_3) \bullet \dots \bullet (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } y \text{ is } B$$

where $\bullet$ represents an operator (e.g., OR or AND) (Rindengan and Langi, 2016).

3. Rule Composition

After obtaining the results from the implication function, the next step is to determine the composition of each rule and the method used to perform fuzzy system inference, which is the MAX (maximum) method. This method combines membership functions from the rule application of the implication function (Lahsasna, 2010).

4. Defuzzification

The input of the defuzzification process is a fuzzy set obtained from the composition of fuzzy rules, while the output is a single value within the domain of the fuzzy set. Thus, when given a fuzzy set in a certain range, a specific crisp value must be derived as the output (Muntahanah et al., 2021). Defuzzification is performed using the centroid method, which is known to be more accurate compared to other methods, with an accuracy rate of up to 90% (Suhada and Riana, 2016). This method considers the condition of each fuzzy region, thus yielding more accurate results (Salman and Seno, 2012). The centroid method combines all the fuzzy regions from the rule composition to form an optimal result and identifies the center point of the fuzzy region (Febriany et al., 2017).

In Kurniawan's (2020) study titled "Implementation of an Automatic Plant Watering and Monitoring System Based on the Internet of Things Using Fuzzy Logic Control", the fuzzy logic method used is as follows:

1. Formation of Fuzzy Sets

a. Soil Moisture Membership Set

The soil moisture membership set has 3 linguistic variables: dry, normal, and wet. The membership set for soil moisture can be seen in **Table 2.1**.

Table 2.1 Soil Moisture Membership Set

Soil Moisture (%)	Linguistic Variable
0 – 20	Dry
25 – 70	Normal
80 – 100	Wet

Based on **Table 2.1**, the graph showing the relationship between the three linguistic variables created in the Matlab application can be seen in **Figure 2.5**.

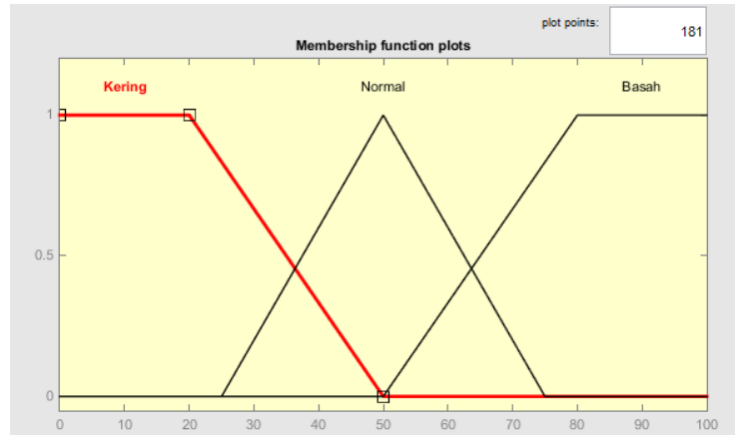


Figure 2.5 Soil Moisture Membership Function Graph (Kurniawan, 2020).

The membership function for each soil moisture membership set can be expressed in **Equation (2.1)**, **Equation (2.2)**, and **Equation (2.3)**.

$$\mu_K [x] = \begin{cases} 0, x < 0 \text{ atau } > 50 \\ \frac{50-x}{50-20}; 20 \leq x \leq 50 \\ 1, 0 \leq x \leq 20 \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0, x < 25 \text{ atau } x > 75 \\ \frac{x-25}{50-25}; 25 \leq x \leq 50 \\ \frac{75-x}{75-50}, 50 \leq x \leq 75 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\mu_B [x] = \begin{cases} 0, x < 50 \text{ atau } x > 100 \\ \frac{x-50}{80-50}; 50 \leq x \leq 80 \\ 1, 80 \leq x \leq 100 \end{cases} \quad (2.3)$$

Keterangan:

μ_K = Membership function for dry soil moisture.

μ_N = Membership function for normal soil moisture.

μ_B = Membership function for wet soil moisture.

b. Temperature Membership Set

The temperature membership set has three linguistic variables: cold, normal, and hot. The temperature membership set can be seen in **Table 2.2**.

Table 2.2 Temperature Membership Set

Temperature °C	Linguistic Variable
0 – 15	Cold
20 – 40	Normal
45 – 50	Hot

Based on Table 2.2, the graph showing the relationship between the three linguistic variables created in the Matlab application can be seen in **Figure 2.6**.

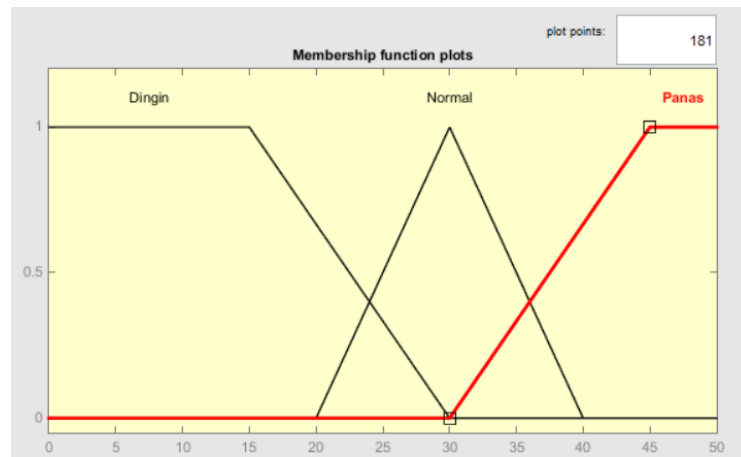


Figure 2.6 Membership Set Graph of Temperature (Kurniawan, 2020)

The membership functions for each temperature membership set can be expressed in **Equation (2.4)**, **Equation (2.5)**, and **Equation (2.6)**.

$$\mu_D [x] = \begin{cases} 0, x < 0 \text{ atau } x > 30 \\ \frac{30 - x}{30 - 15}; 15 \leq x \leq 25 \\ 1, 0 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0, x < 20 \text{ atau } x > 40 \\ \frac{x - 20}{30 - 20}; 20 \leq x \leq 30 \\ \frac{40 - x}{40 - 30}, 30 \leq x \leq 40 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\mu^P [x] = \begin{cases} 0, x < 30 \text{ atau } x > 50 \\ \frac{x - 30}{45 - 30}; 30 \leq x \leq 45 \\ 1, 45 \leq x \leq 50 \end{cases} \quad (2.6)$$

Keterangan:

μ^D = Membership function for cold temperature.

μ^N = Membership function for normal temperature.

μ^P = Membership function for hot temperature.

c. Membership Set of Timer

The membership set of the timer has three linguistic variables: Short, normal, and long. The membership set of the timer can be seen in **Table 2.3**.

Table 2.3 Membership Set of Timer

Timer (s)	Linguistic Variable
0 – 7,5	Short
5 – 10	Normal
7,5 – 15	Long

Berdasarkan **Table 2.3**, grafik yang menunjukkan hubungan dari ketiga variabel linguistik yang dibuat pada aplikasi matlab dapat dilihat pada **Figure 2.7**.

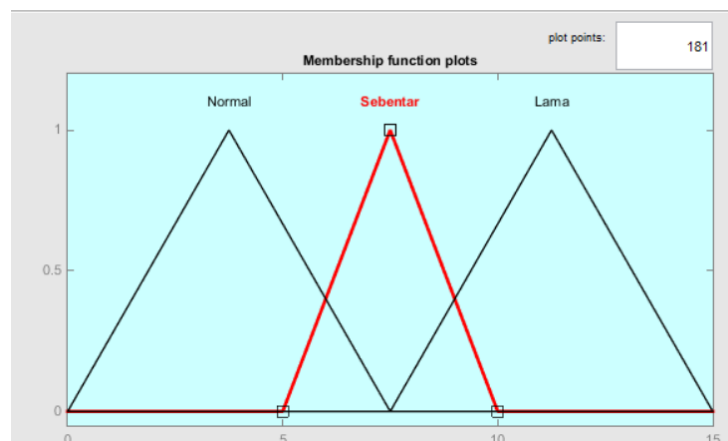


Figure 2.7 Timer Membership Function Graph (Kurniawan, 2020)

The membership functions for each of the timer membership sets can be expressed by **Equation (2.7)**, **Equation (2.8)**, and **Equation (2.9)**.

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0, x < 0 \text{ atau } x > 7.5 \\ \frac{x - 0}{3.75 - 0}; 0 \leq x \leq 3.75 \\ \frac{7.5 - x}{7.5 - 5}, 3.75 \leq x \leq 7.5 \end{cases} \quad (2.7)$$

$$\mu_S [x] = \begin{cases} 0, x < 5 \text{ atau } x > 10 \\ \frac{x - 5}{7.5 - 5}; 5 \leq x \leq 7.5 \\ \frac{10 - x}{10 - 7.5}, 7.5 \leq x \leq 10 \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\mu_L [x] = \begin{cases} 0, x < 7.5 \text{ atau } x > 15 \\ \frac{x - 7.5}{11.25 - 7.5}; 7.5 \leq x \leq 11.25 \\ \frac{15 - x}{15 - 11.25}, 11.25 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (2.9)$$

Keterangan:

μ_N = Normal timer membership function.

μ_S = Short timer membership function.

μ_L = Long timer membership function.

2. Inference

At this stage, decision-making is based on the logic rules that have been created, resulting in an output decision that involves a control action. The fuzzy rules for the input soil moisture and temperature sensor input contain 9 linguistic values, as defined by the following functions:

(R1) **If** the moisture is dry and the temperature is cold, **then** the timer is long.

(R2) **If** the moisture is dry and the temperature is normal, **then** the timer is long.

(R3) **If** the moisture is dry and the temperature is hot, **then** the timer is long.

(R4) **If** the moisture is normal and the temperature is cold, **then** the timer is short.

(R5) **If** the moisture is normal and the temperature is normal, **then** the timer is normal.

(R6) **If** the moisture is normal and the temperature is hot, **then** the timer is normal. (R7) **If** the moisture is wet and the temperature is cold, **then** the timer is short.

(R8) **If** the moisture is wet and the temperature is normal, **then** the timer is short.

(R9) **If** the moisture is wet and the temperature is hot, **then** the timer is short.

Example calculation using a temperature of 26.61°C and a soil moisture value of 37.88%.

Rule 1 if the moisture is dry and the temperature is cold, then the timer is long.

$$\begin{aligned}
 R1 &= \mu_{\text{temperature}} \cap \mu_{\text{moisture}} \\
 &= \text{MIN}(\mu_{\text{cold}}[26.61], \mu_{\text{dry}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN}(0.226, 0.404) \\
 &= 0.226
 \end{aligned}$$

Rule 2 if the moisture is dry and the temperature is normal, then the timer is long.

$$\begin{aligned}
 R2 &= \mu_{\text{temperature}} \cap \mu_{\text{moisture}} \\
 &= \text{MIN}(\mu_{\text{normal}}[26.61], \mu_{\text{dry}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN}(0.660, 0.404) \\
 &= 0.404
 \end{aligned}$$

Rule 4 if the moisture is normal and the temperature is cold then the timer is short.

$$\begin{aligned}
 R4 &= \mu_{\text{temperature}} \cap \mu_{\text{moisture}} \\
 &= \text{MIN}(\mu_{\text{cold}}[26.61], \mu_{\text{normal}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN}(0.226, 0.515) \\
 &= 0.226
 \end{aligned}$$

Rule 5 if moisture normal and temperature normal then timer normal

$$\begin{aligned}
 R5 &= \mu_{\text{temperature}} \cap \mu_{\text{moisture}} \\
 &= \text{MIN}(\mu_{\text{normal}}[26.61], \mu_{\text{normal}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN}(0.660, 0.515) \\
 &= 0.515
 \end{aligned}$$

3. Defuzzification

The Center of Area (CoA) calculation for the short membership function involves calculating the area of a triangle by multiplying the base by the height and then dividing by two. The middle value is obtained by adding the area calculation to the minimum range of the short membership function.

$$P = 7.5 - 0 = 7.5$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 0 + 3.75 = 3.75$$

The CoA (Center of Area) calculation for the normal membership function is performed by calculating the area of a triangle, which is done by multiplying the base by the height and then dividing by two. The center value is obtained by adding the calculated area to the minimum range of the normal membership function.

$$P = 10 - 5 = 5$$

$$L = \frac{5 \times 1}{2} = 2.5$$

$$\text{CoA} = 5 + 2.5 = 7.5$$

The CoA (Center of Area) calculation for the long membership function is also performed by calculating the area of a triangle, which is done by multiplying the base by the height and then dividing by two. The center value is obtained by adding the calculated area to the minimum range of the long membership function.

$$P = 15 - 7.5 = 7.5$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 7.5 + 3.75 = 11.25$$

The Center of Area values for the timer membership functions can be seen in **Figure 2.8**.

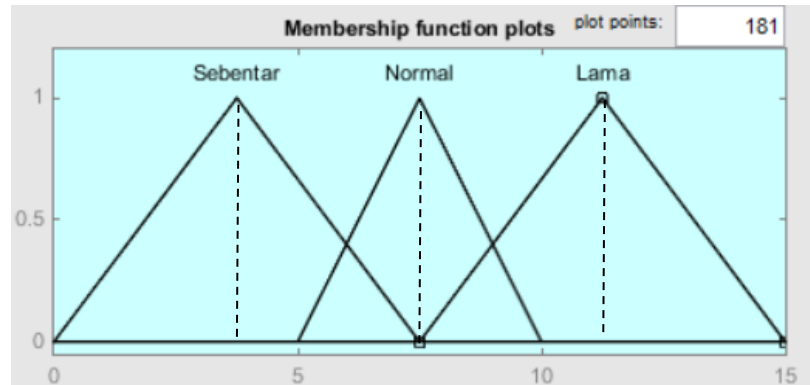


Figure 2.8 Center of Area Values for Timer Membership Functions

The results of the Center of Area (CoA) values and the area values of the timer membership function can be seen in **Table 2.4**.

Table 2.4 Area and Center of Area Values

Membership	Area (L)	Center of Area (CoA)
Sebentar	3,75	3,75
Normal	2,5	7,5
Lama	3,75	11,25

To calculate the defuzzification, the centroid method is used as shown in **Equation (2.10)**.

$$\text{Defuzzification} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{aturan}(i) \times \text{CoA}(i) \times L(i)}{\sum_{i=1}^n \text{aturan}(i) \times L(i)} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.226 \times 11.25 \times 3.75 + 0.226 \times 11.25 \times 3.75 + 0.403 \times 3.75 \times 3.75 + 0.515 \times 7.5 \times 2.5}{0.226 \times 3.75 + 0.226 \times 3.75 + 0.403 \times 3.75 + 0.515 \times 2.5} \\
 &= \frac{34.410}{4.498} = 7.65 \text{ (long)}
 \end{aligned}$$

The value of 7.65 obtained from the defuzzification process corresponds to the "long" timer membership function in the fuzzy inference system. This result indicates that, based on the applied fuzzy rules, the system determines that the pump should run for 7.65 seconds to irrigate the plants. After this value is obtained, the microcontroller will activate the pump relay for 7.65 seconds before turning it off,

ensuring that the plants receive the appropriate amount of water based on the environmental conditions measured by the sensors.

2.2.4 *Espressif Systems Processor 32-bit (ESP32)*

The ESP32 microcontroller is an integrated System on Chip (SoC) equipped with Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth version 4.2, and various peripherals. The ESP32 is a comprehensive chip, featuring a processor, storage, and access to General Purpose Input Output (GPIO) pins. It can be used as a replacement for Arduino boards and is capable of connecting directly to Wi-Fi networks. The ESP32 board comes in two versions: one with 30 GPIO pins and another with 36 GPIO pins. Both versions offer the same functionality, but the 30-GPIO version is often preferred due to its two GND (ground) pins. All pins are labeled on the top of the board for easy identification. The board includes a Universal Serial Bus (USB) to Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) interface, making it compatible with application development programs such as the Arduino IDE. Power can be supplied to the board via a microUSB connector (Nizam et al., 2022). In addition to Wi-Fi connectivity, the ESP32 also supports Bluetooth Low Energy (BLE), making it even more versatile. The ESP32 uses a 32-bit Xtensa LX6 CPU, similar to the ESP8266, but offers dual-core processing as an advantage. Furthermore, the ESP32 includes 128KB of ROM, 416KB of SRAM, and 64MB of flash memory for storing programs and data (Prafanto et al., 2021). The 30-GPIO version of the ESP32 has a pin configuration as shown in **Figure 2.10**.

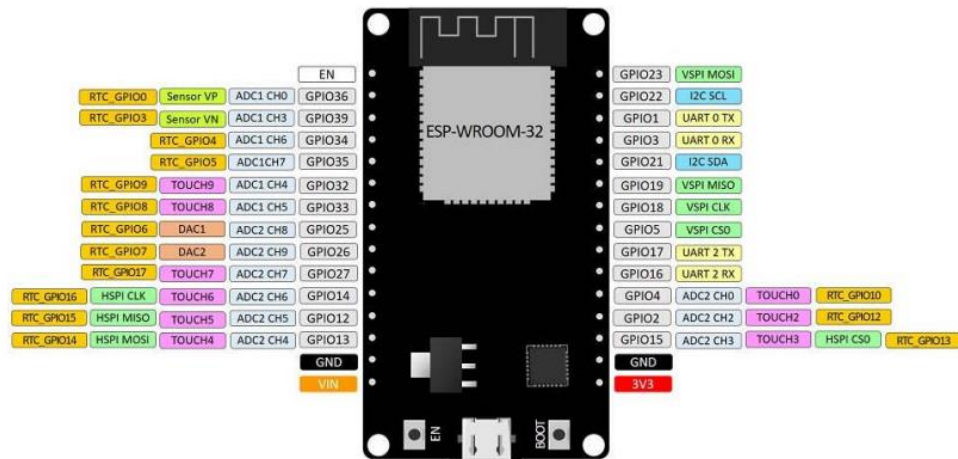


Figure 2.9 ESP32 30 GPIO Pin Configuration (Wag yana and Rahmat, 2019)

The specifications of the NodeMCU ESP32 can be seen in **Table 2.5**.

Table 2.5 Specifications of NodeMCU ESP32

Spesification	Description
Central Processing Unit (CPU)	Tensilica Xtensa LX6 32 bit dual-core at 160/240 MHz
Static Random-Access Memory (SRAM)	520 KB
FLASH	2 MB (max. 64 MB)
Voltage	2.2V to 3.6V
Operating current	Average 80mA
Programmable	Yes (C, C++, Python, Lua, d
Open source	Yes
Wireless Fidelity (Wi-Fi)	802.11 b/g/n
Bluetooth	4.2BR/EDR + BLE
UART	3
GPIO	32
Serial Peripheral Interface (SPI)	4
Inter-Integrated Circuit (I2C)	2
Pulse Width Modulation (PWM)	8
Analog-to-Digital Converter (ADC)	18 (12-bit)
Digital-to-Analog Converter (DAC)	2 (8-bit)

This microcontroller can operate on low power using a low-duty cycle mode, which helps minimize the energy consumption of the chip. The ESP32 is an integrated microcontroller that supports both Wi-Fi and Bluetooth for IoT applications and is accompanied by 20 external components (Asmazori and Firmawati, 2021).

2.2.5 DHT11 Temperature Sensor

The DHT11 is a temperature and humidity sensor with an eight-bit restorative type in a small package. The eight-bit value refers to the temperature restitution. The DHT11 sensor is widely available, very inexpensive, and offers good sensitivity. The temperature range is from 0 to 50°C, and the humidity range is from 20% to 90% relative humidity (Horan, 2013). The DHT11 sensor generally features a calibrated temperature and humidity reading with fairly accurate values. The calibration data is stored in the One-Time Programmable (OTP) memory, also known as the calibration coefficient.

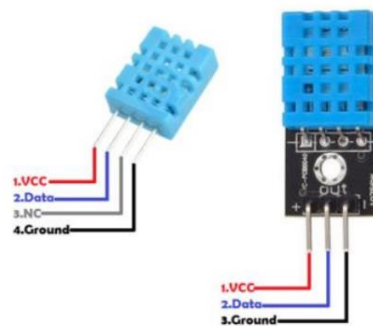


Figure 2.10 DHT11 Temperature Sensor (Rangan et al., 2020)

The DHT11 sensor has 2 versions as shown in Figure 2.11, namely the 4-pin version and the 3-pin version. There is no difference in characteristics between these two versions. In the 4-pin version, pin 1 is the power supply voltage, ranging from 3V to 5V. Pin 2 is the data output. Pin 3 is the NC (Normally Close) pin, which is not used, and pin 4 is Ground. Whereas in the 3-pin version, pin 1 is VCC ranging from 3V to 5V, pin 2 is the data output, and pin 3 is Ground (Rangan et al., 2020).

The various pins of the DHT11 sensor are as follows:

- VCC: Stands for Voltage Common Collector. The VCC pin is used to connect to the microcontroller's VCC pin.
- DATA: This is the data pin used to read sensor values and transmit data to the microcontroller, which then displays the data on an LCD or serial monitor.
- GND: Stands for Ground. The GND pin is used to connect to the microcontroller's ground pin (Singh et al., 2020).

The DHT11 sensor is compact and uses a single-wire serial interface, which makes it fast and easy to connect. The sensor's data signal transmission can reach up to 20 meters. The full specifications of the DHT11 can be seen in **Table 2.6**.

Table 2.6 DHT11 Sensor Specifications

Spesification	Description
Measurement range	20-90% RH, 0-50°C
Humidity accuracy	$\pm 5\%$ RH
Temperature accuracy	$\pm 2^\circ\text{C}$
Resolution	1% RH, 0,1°C
Power supply	5V
Current consumption	0,5mA – 2,5mA
Sampling time	1 second

The DHT11 measures air humidity by detecting water vapor and measuring the electrical resistance between two electrodes. The humidity sensing component consists of a moisture-retaining substrate equipped with electrodes. When the substrate absorbs water vapor, it releases ions, which increase conductivity between the electrodes. This increased conductivity results in lower resistance, indicating high humidity. Conversely, when the air is drier, less vapor is absorbed by the substrate, reducing conductivity and increasing resistance (Nasir, 2019). **Figure 2.11** shows the air humidity sensing component on the DHT11.

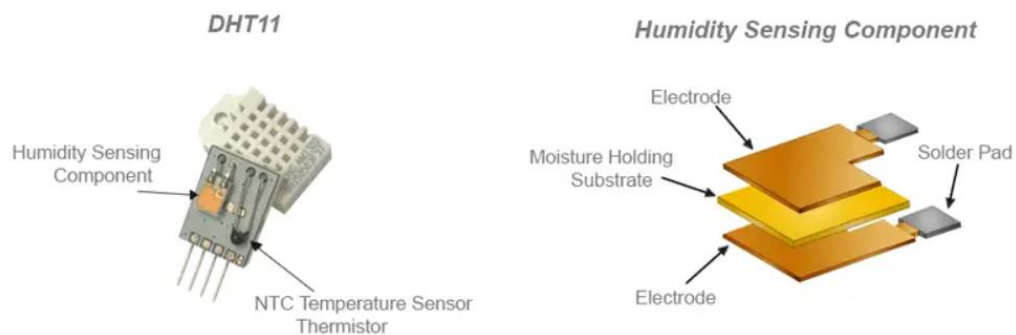


Figure 2.11 Humidity Sensing Component (Magdy, 2025)

To measure temperature, the DHT11 sensor uses a Negative Temperature Coefficient (NTC) thermistor, which means the resistance value decreases as the temperature increases (Al-Khairi, 2021). The sensor is made using semiconductive

materials such as ceramic or polymer, which change resistance in response to small temperature changes. When the temperature changes, the resistance value shifts accordingly, enabling temperature measurement of the environment (Nasir, 2019), as shown in **Figure 2.12**.

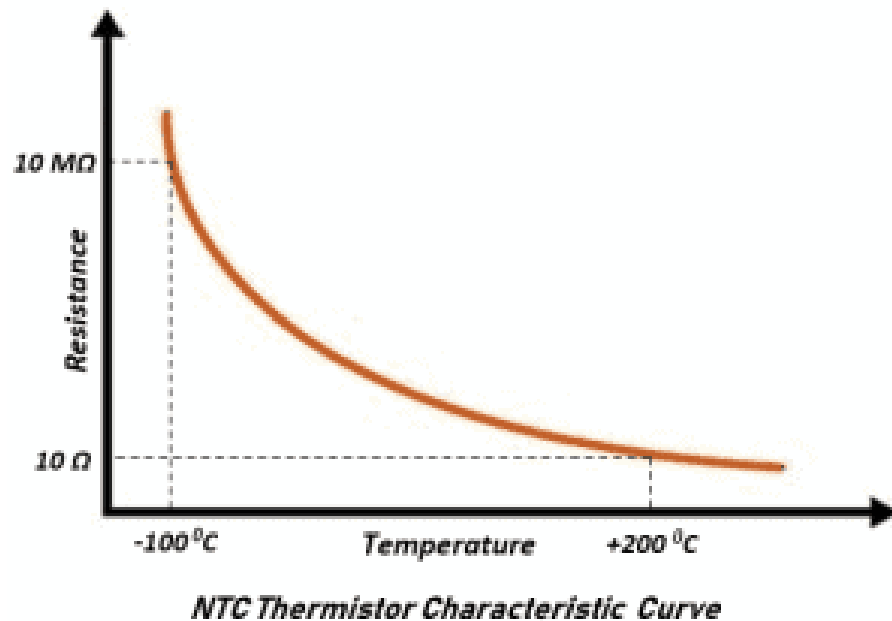


Figure 2.12 NTC Thermistor Characteristics (Kalaburgi, 2021)

2.2.6 Soil Moisture Sensor YL-69

The YL-69 soil moisture sensor is a moisture sensor that can detect soil moisture. This sensor is very simple, but ideal for monitoring urban gardens or water levels in yard plants. The sensor consists of two probes that pass current through the soil and then read its resistance to determine the moisture level. The more water in the soil, the easier it is for the soil to conduct electricity (low resistance), while dry soil is much harder to conduct electricity (high resistance). This sensor is very helpful for reminding the moisture level of plants or monitoring soil moisture (Haidar, 2023). The YL-60 soil moisture sensor consists of two electrodes whose operating principle is based on resistance. This sensor reads the moisture level of the soil around its electrodes. The electric current flowing through both electrodes in the soil and the soil's resistance will determine the soil moisture level. When the water

content or soil moisture is high, ions in the water will help the electric current flow through the soil, making the resistance small, and when the water content or soil moisture is low, the resistance will be high (Andariesta et al., 2015). The relationship between resistance and current is expressed in Ohm's Law in **Equation (2.11)**.

$$V = I \times R \quad (2.11)$$

Where V is the voltage, I is the current, and R is the resistance (Tim Smart Genesis, 2018). The form of the YL-69 soil moisture sensor can be seen in Figure 2.13.

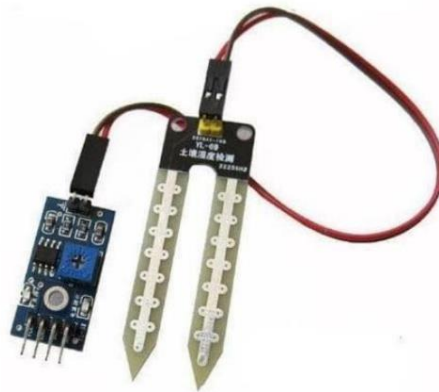


Figure 2.13 YL-69 Soil Moisture Sensor (Daniel et al., 2022)

In a YL-69 soil moisture sensor set, there is a module that contains the LM393 IC. The sensitivity of detection can be adjusted by turning the potentiometer attached to the processing module. The components of the YL-69 sensor module are shown in **Figure 2.14**.

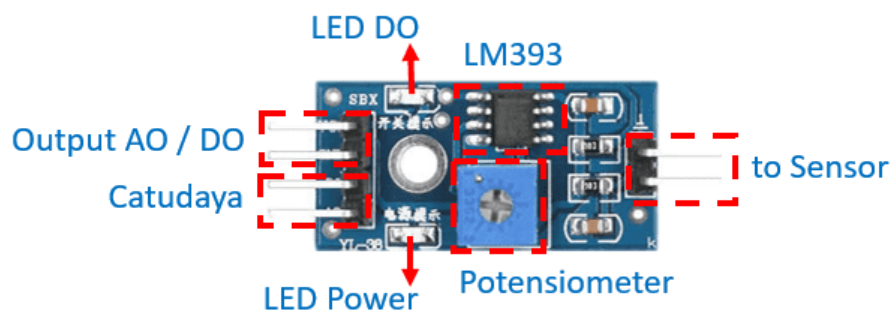


Figure 2.14 YL-69 Sensor Module (Algorista, 2020)

For precise detection, a microcontroller can use the analog output (connected to the ADC pin or analog input on the microcontroller) to provide a moisture level reading

on a scale of 0V (to GND) to VCC (supply voltage). The YL-69 soil moisture sensor has an input voltage specification of 3.3V or 5V, output voltage of 0 – 4.2V, current of 35mA, and an ADC value range of 1024 from 0 – 1023 bits. The soil moisture sensor measures the soil water content, which can be determined by its effect on the dielectric constant by measuring the two electrodes embedded in the soil. Where the soil moisture is high in the form of free water, for example in sandy soil, it is directly proportional to the water content. The probe is usually excited with a frequency to allow measurement of the dielectric constant. The probe readings are non-linear with the water content and are affected by the soil type and soil temperature (Mardika and Kartadie, 2019). To determine the soil moisture level, the ADC value from the sensor is converted into a moisture percentage. The higher the ADC value, the lower the moisture percentage (Thirafi, 2023).

The YL-69 soil moisture sensor is a device that can measure the soil moisture level in a simple way. You just need to insert the sensor probe into the soil, and this sensor will immediately provide data about the soil moisture level. Information about soil moisture can be obtained through the value displayed by the sensor. This sensor uses two probes to pass current through the soil and then reads the resistance to determine the soil moisture level. The more water in the soil, the easier the soil will conduct electricity (low resistance), while dry soil will find it harder to conduct electricity (high resistance). There are three pins on this sensor, each with its own function: analog output, ground, and power. The soil moisture sensor works on the principle of reading the amount of water content in the surrounding soil. This sensor is ideal for monitoring soil water content for plants. This sensor uses two conductors to pass current through the soil, then reads the resistance to determine the moisture level. More water in the soil makes it easier for the soil to conduct electricity (higher resistance value), while dry soil will make it harder to conduct electricity (lower resistance value). The soil moisture sensor operates with a voltage of 3.3V or 5V with an output voltage of 0 – 4.2V. This sensor can read the water content in three conditions:

- 0-300: dry soil.
- 300-700: moist soil.
- 700-950: wet soil (Yaakub and Meilano, 2019).

2.2.7 Relay

A relay is a mechanical switch that is electronically controlled. The switch in the relay changes position from off to on when electromagnetic energy is applied to the relay. A relay essentially consists of two main parts: the mechanical switch and the electromagnetic generation system (iron core). The switch or relay contactor is controlled by applying electrical voltage to the magnet generator to pull the lever of the switch or contactor. A relay consists of a coil and contacts. The coil is a wire winding that receives electrical current, while the contacts are a type of switch whose movement depends on the presence or absence of current in the coil. There are two types of contacts: Normally Open (NO), which is initially in the open position before activation, and Normally Closed (NC), which is initially in the closed position before activation. In simple terms, the working principle of the relay is that when the coil receives electrical energy, an electromagnetic force is generated, pulling the spring-loaded lever, and the contacts close. A basic relay circuit diagram can be seen in **Figure 2.15**.

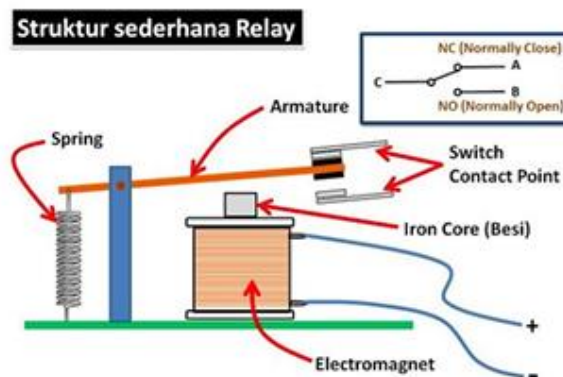


Figure 2.15 Relay (Saleh and Haryanti, 2017)

The structure of a relay includes:

- **Armature:** A metal lever that can move up and down. The lever will drop when attracted by the ferromagnetic magnet (electromagnet), and will return to the raised position when the ferromagnetic magnetism is lost.
- **Spring:** The spring pulls the lever. When the ferromagnetic magnetism is lost, the spring pulls the lever back up.
- **Shading Coil:** This is for protecting AC currents from the PLN electricity supply connected to the C (Contact).
- **NC Contact:** NC stands for Normally Closed. A contact that is initially connected to the source contact (core contact, C) in the OFF position.
- **NO Contact:** NO stands for Normally Open. A contact that will connect to the source contact (core contact, C) in the ON position.
- **Electromagnet:** A coil of wire wrapped around ferromagnetic metal that functions as a temporary magnet. It becomes magnetic when the coil is supplied with current and returns to normal metal when the current is turned off (Satriadi et al., 2019).

A relay is also used to open and close circuits by utilizing signals from other electronic circuits. A relay consists of a coil, spring, switch, and two electronic contacts, as follows.

1. *Normally Close* (NC) a switch that is connected to the contact when the relay is not active or in an open condition.
2. *Normally Open* (NO) a switch that is connected to the contact when the relay is active or in a closed condition (Santoso and Wijayanto, 2022).

2.2.8 Liquid Crystal Display (LCD)

An electronic display is one of the electronic components used to display numbers, letters, or other symbols. Liquid Crystal Display (LCD) is one of the most commonly used electronic displays. The number of characters that can be displayed depends on the specifications it has. The display of the LCD is shown in **Figure 2.16**.

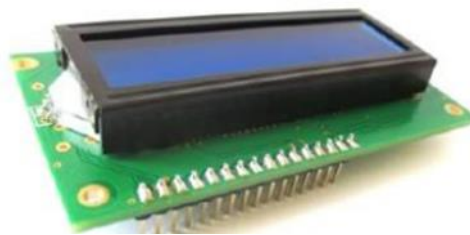


Figure 2.16 Liquid Crystal Display (LCD) (Anggara et al., 2018)

The general operation of an LCD is that the RW port is given a low logic "0". The data bus consists of 4-bit or 8-bit. If the data path is 4-bit, then DB4 to DB7 are used. The LCD interface is a parallel bus, which makes it very convenient and fast for reading and writing data to or from the LCD. The 8-bit ASCII code to be displayed is sent to the LCD in either 4-bit or 8-bit at a time. If a 4-bit mode is used, then two nibbles of data are sent to complete the 8-bit (the first 4-bit MSB is sent, followed by 4-bit LSB with an EN clock pulse for each nibble). The EN path is used to inform the LCD that the microcontroller is sending data to the LCD. To send data to the LCD, the program must set EN to high "1" and then set the other two paths (RS and R/W) or send data to the data bus. Once the other paths are ready, EN should be set to "0" and wait for a moment (depending on the LCD datasheet), then set EN to high "1". When the RS path is in low "0" condition, the data sent to the LCD is considered a command or special instruction (such as clearing the

screen, setting the cursor position, etc.). When RS is in high "1", the data sent is ASCII data to be displayed on the screen. For example, to display the letter "A", RS should be set to "1". The R/W path must be in low "0" when data is being written to the LCD. If R/W is in high "1", the program will perform a query (read) from the LCD. There is only one read instruction, which is to Get LCD status (read LCD status), while the others are write instructions. Therefore, in every application using an LCD, R/W is always set to "0". The data paths can consist of 4 or 8 paths (depending on the mode selected by the user), DB0, DB1, DB2, DB3, DB4, DB5, DB6, and DB7 (Anggara et al., 2018).

2.2.9 Arduino IDE Software

Arduino was created for beginners, even those without any programming background, because it uses C++ that has been simplified through libraries. Arduino uses the Processing software, which is used to write programs into the Arduino. Processing itself is a combination of C++ and Java. This Arduino software can be installed on various operating systems (OS) such as LINUX, MacOS, and Windows. Arduino is not just a development tool, but a combination of hardware, programming, and an advanced Integrated Development Environment (IDE). The interface of the Arduino IDE software can be seen in **Figure 2.17**.



Figure 2.17 *Arduino Software* (Arifin et al., 2016)

Arduino IDE is one of the software tools that plays a crucial role in writing programs, compiling them into binary code, and uploading them into the microcontroller's memory. The Arduino IDE software consists of 3 (three) parts:

- a. Editor program, used to write and edit programs in Processing. The program listing in Arduino is called a sketch.
- b. *Compiler*, a module that converts the Processing program (code) into binary code because binary code is the only program understood by the microcontroller.
- c. *Uploader*, a module that uploads the binary code into the microcontroller's memory (Arifin et al., 2016).

The Arduino IDE is also the software used to create programming sketches, or in other words, the IDE serves as a medium for programming the board that needs to be programmed. The Arduino IDE is useful for editing, creating, uploading to the

specified board, and coding specific programs. Arduino IDE is made from Java programming and comes with C/C++ libraries that make input and output operations easier (Kamal et al., 2023).

2.2.1 Soil Moisture

Surface soil moisture refers to the water content within the top 10 cm layer of soil, while root zone soil moisture refers to the water content within the top 200 cm from the soil surface. Moisture levels can be expressed as soil water content or as soil water potential, which indicates the potential availability of water within the soil (Degeng and Prabowo, 2015). According to Stevanus and Setiadikarunia (2013), soil moisture is defined as the amount of water contained in the soil, expressed as a percentage. In general, to measure soil moisture, the method used is the American Standard Method (ASM). The principle of this method involves comparing the mass of water to the mass of soil particles (dry soil mass), as shown in **Equation (2.12)** and **Equation (2.13)**:

$$m_a = m_2 - m_1 \quad (2.12)$$

$$k_d = \frac{m_a}{m_1} \times 100\% \quad (2.13)$$

dengan:

m_2 = Wet soil mass (g);

m_1 = Dry soil mass (g);

k_d = Water content (%);

m_a = Water mass (g);

The mass of the soil particles can be obtained by placing the soil sample in a heating device such as an oven. Meanwhile, the mass of water is the difference between the mass of the wetted soil particles and the dry soil particles.

III. RESEARCH METHOD

3.1 Location and Time of Implementation

This research was conducted from May 2024 to November 2024. The development of the device was carried out in Teluk Betung, Teluk Betung Utara District, Bandar Lampung City, and the device testing was conducted at the Basic Electronics Laboratory, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Lampung.

3.2 Tools and Materials of Research

In the development of the device for this research, several tools and materials were used to support the progress of the device fabrication, as described below.

3.2.1 Tools

The tools used in the making of this device are classified into two types, namely software and hardware. The software required in this research is shown in **Table 3.1**.

Table 3.1 Software

No.	Software	Function
1.	Arduino IDE	To create the control program for the ESP32.
2.	Fritzing	As a program to design the circuit schematic.
3.	Matlab	To simulate and analyze fuzzy logic.

As for the hardware used in this research is shown in **Table 3.2**.

Table 3.2 Hardware

No.	Name	Function
1.	Laptop	To create programming in Arduino IDE and to write the research report.
2.	Solder	To connect the components of the device.
3.	Other equipment (cables, screwdrivers, and so on)	To connect and install the components in the circuit of the device.

3.2.2 Materials

The materials used in this research are shown in **Table 3.3**.

Table 3.3 Materials

No.	Material	Function
1.	ESP32	As the controller of the monitoring device for measuring humidity and temperature.
2.	YL-69 Sensor	As the detector of soil moisture.
3.	Relay	As a switch for turning ON or OFF the water pump.
4.	DHT11 Sensor	As the detector of temperature.
5.	LCD 16 x I2C	To display data of temperature and soil moisture.
6.	Hose	As the medium for water flow.
7.	Water pump	To distribute water.
8.	Power supply	To provide electrical power to all components in the computer system or electronic device.

3.3 Research Procedure

The development of this device involves several stages, which include device design, functionality testing, and measurement data collection. The steps taken in the development of the device are illustrated in the research flowchart shown in **Figure 3.1**.

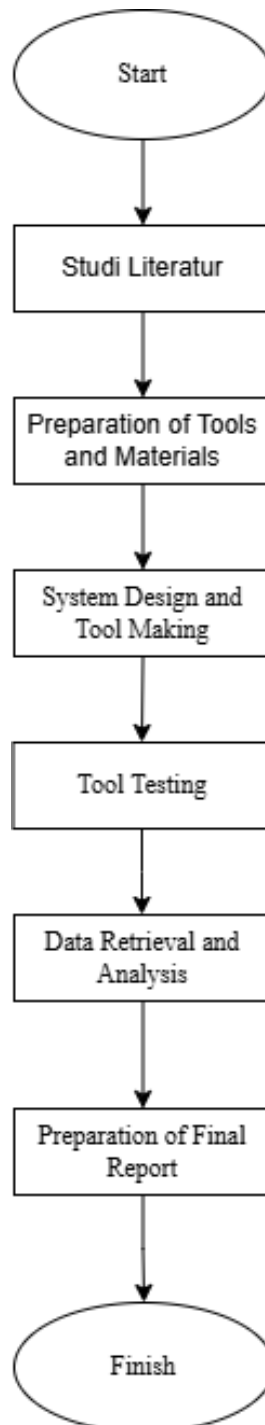


Figure 3.1 Research Flowchart

3.4 Device Design

At this stage, the design of an Internet of Things-based irrigation device using an ESP32 microcontroller is carried out. The block diagram of the device design is shown in **Figure 3.2**.

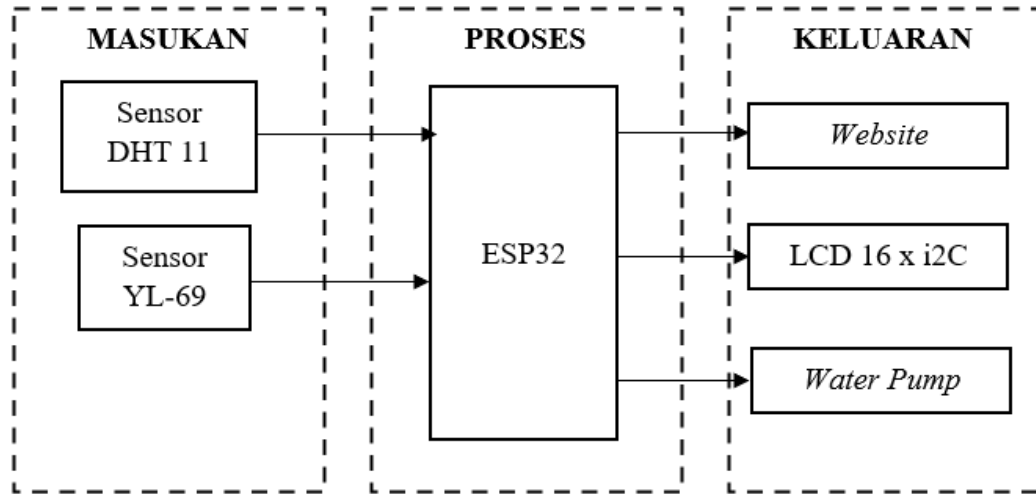


Figure 3.2 Block Diagram

This device is designed to monitor and control irrigation for tomato plants using the ESP32 microcontroller. The device consists of the ESP32, YL-69 sensor, DHT11 sensor, 16x2 LCD with I2C interface, relay, and water pump. The ESP32 functions as the microcontroller used for both monitoring and control. The YL-69 sensor is used to detect soil moisture in tomato plants, and the DHT11 sensor is used to detect temperature around cherry tomato plants. Furthermore, the 16x2 LCD with I2C interface displays the values of moisture and temperature, while the relay functions as an automatic switch for the water pump. The system also includes a water pump, which serves as the tool to distribute water. The values of the soil moisture sensor, temperature, and watering duration will then be displayed on the website.

a. DHT11 Temperature Sensor Circuit

This research includes a temperature sensor connected to the ESP32. The connection is made by connecting the 5V pin on the ESP32 to the VCC pin of the DHT11 temperature sensor, the data pin of the DHT11 to pin D14 on the ESP32,

and the ground pin of the DHT11 to the GND pin on the ESP32. The DHT11 sensor circuit is shown in **Figure 3.3**.

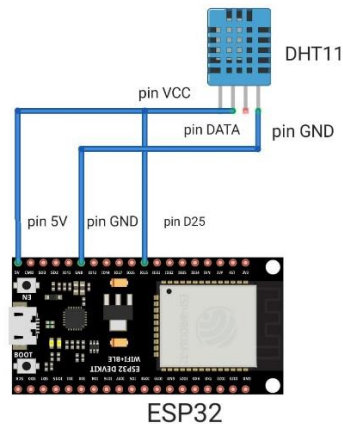


Figure 3.3 DHT11 Circuit

b. YL-69 Moisture Sensor Circuit

This research also uses the YL-69 soil moisture sensor, connected to the ESP32 by connecting the A0 pin of the YL-69 sensor to pin D35 on the ESP32. The VCC pin of the YL-69 sensor is connected to the 3V3 pin on the ESP32, and the GND pin of the YL-69 sensor is connected to the GND pin on the ESP32. The circuit of the YL-69 soil moisture sensor is shown in **Figure 3.4**.

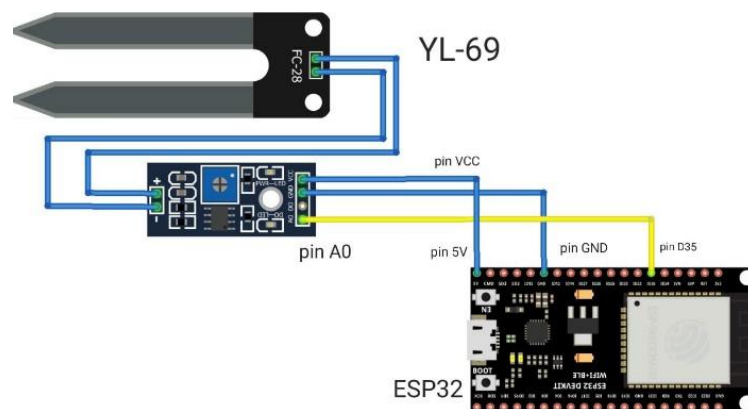


Figure 3.4 YL-69 Sensor Circuit

c. Liquid Crystal Display (LCD) Circuit

The LCD circuit is connected to the ESP32 by connecting the VCC pin of the LCD to the VCC pin on the ESP32, the GND pin of the LCD to the GND pin of the

ESP32, the SDA pin of the LCD to pin D21 on the ESP32, and the SCL pin of the LCD to pin D22 on the ESP32. The LCD circuit is shown in **Figure 3.5**.

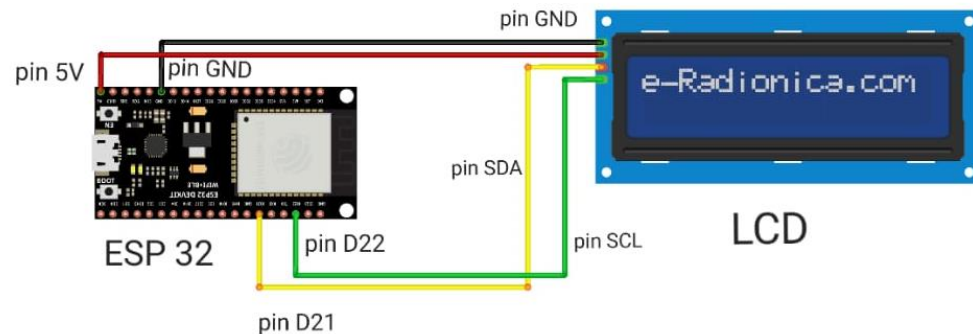


Figure 3.5 LCD Circuit

d. Relay and Water Pump Circuit

This circuit includes a relay and water pump connected to the ESP32. For the relay, the VCC pin is connected to the 5V pin on the ESP32, the GND pin to the GND pin on the ESP32, and the IN pin to pin D5 on the ESP32. In the relay and water pump circuit, the red cable from the battery is connected to the COM pin on the relay. The black cable from the battery is connected to the black cable of the water pump. Then, the red cable of the water pump is connected to the NO pin on the relay. The relay and water pump circuit is shown in **Figure 3.6**.

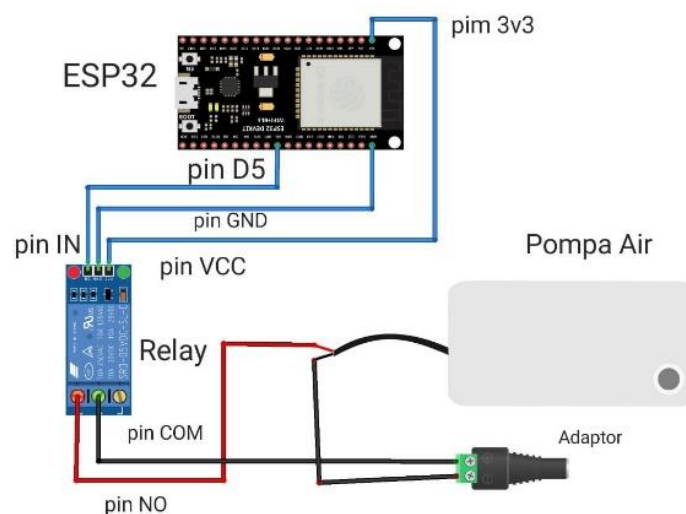


Figure 3.6 Relay and Pump Circuit

The schematic of the automatic irrigation device is shown in **Figure 3.7**.

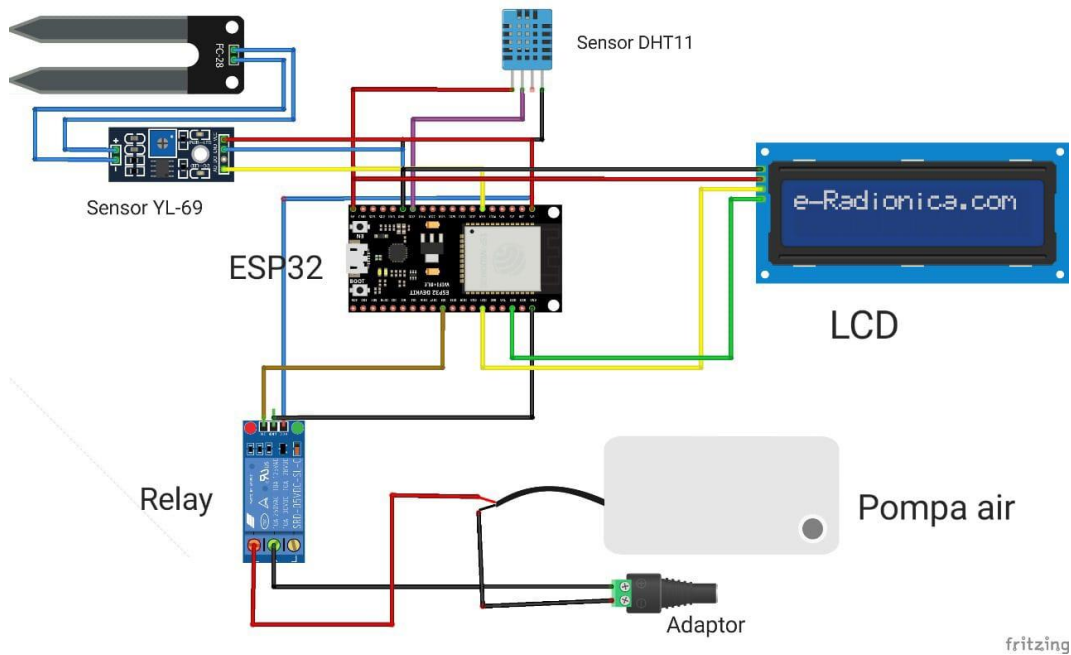


Figure 3.7 Automatic Irrigation Device Schematic

The 3D schematic of the automatic irrigation system is shown in Figure 3.8, where cherry tomato plants will be placed in polybags and water flow is distributed through hoses. The YL-69 sensor will be inserted into the soil to a depth of 3 centimeters, and the DHT11 sensor will be placed around the plant to detect ambient air temperature.

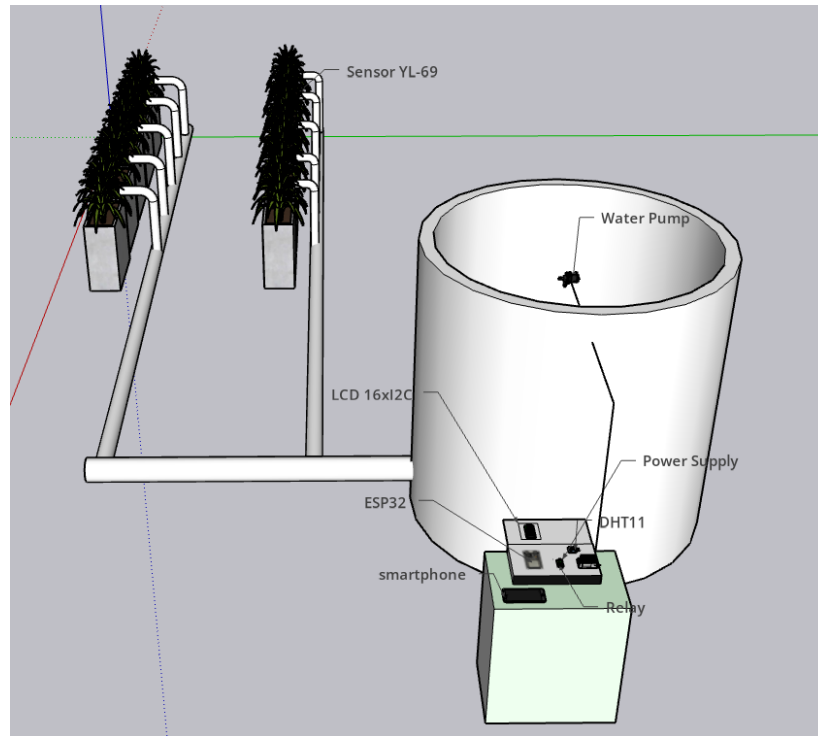


Figure 3.8 3D Automatic Irrigation Schematic

3.5 Software Design

This stage involves designing the control and monitoring system of the automatic irrigation using the ESP32 microcontroller. The steps of the Arduino program to run the automatic irrigation process are shown in **Figure 3.9**.

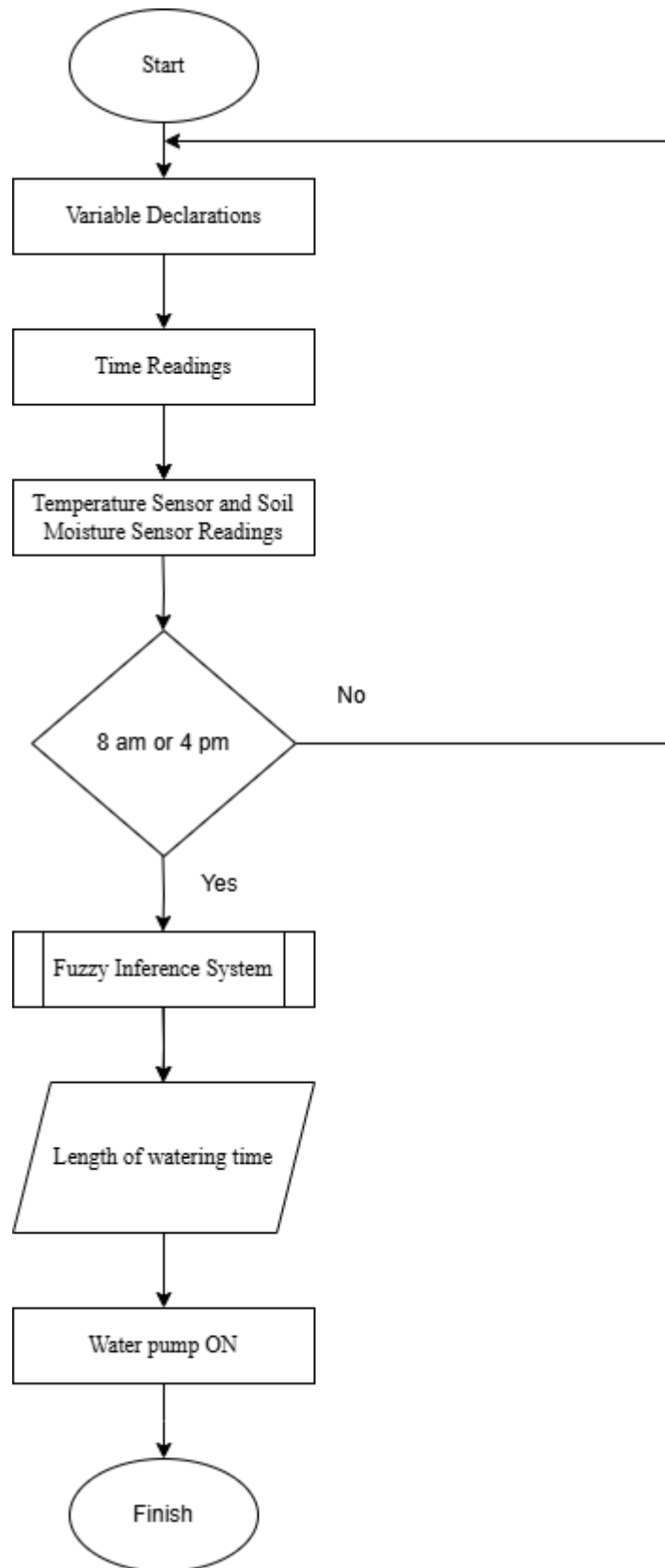
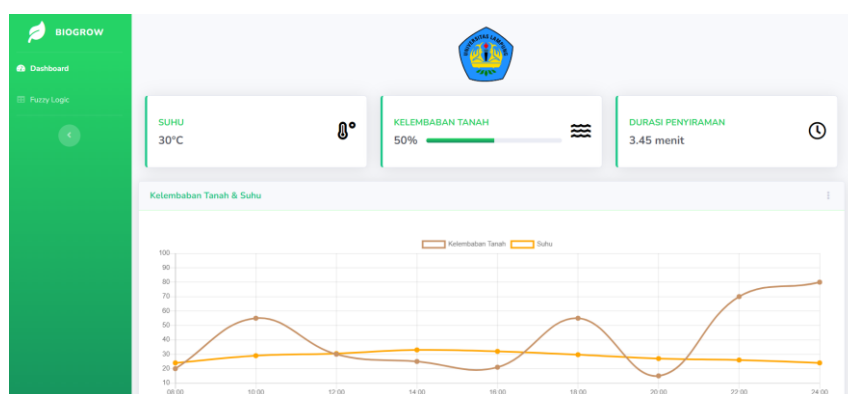


Figure 3.9 Automatic Irrigation Flowchart

In the automatic irrigation system, the device operates when the time shows 08:00 or 16:00, at which point it initiates irrigation by reading values from the DHT11 temperature sensor and YL-69 moisture sensor. The input values obtained from the DHT11 and YL-69 sensors are used as inputs for the fuzzy inference process. The fuzzy inference process consists of fuzzification, fuzzy rule application, and defuzzification. The output produced from defuzzification is the duration of watering for the cherry tomato plants. The watering duration result is in seconds. Once the output is obtained, the water pump will be activated. In this study, the cherry tomato plants are divided into two groups. In the first group, watering is controlled by the monitoring device. In the second group, watering is not controlled by the monitoring device.

3.6 Website Development

The website serves as an interface that displays real-time values of soil moisture, air temperature, and fuzzy logic results. Sensor readings are transmitted by the ESP32 to MyPHP, which then connects to the program so that the values can be displayed on the website. The data on air temperature, soil moisture, and fuzzy logic results are sent in real-time by the ESP32. The website interface can be seen in **Figure 3.10**.



(a) First Website Display

Waktu	Kelembaban Tanah	Suhu	Durasi Penyiraman
2024-02-30 07:00:00	28	20.19	3.19
2024-02-30 08:31:20	29	26.33	6.7
2024-02-30 10:08:33	30	21.17	6.84
2024-02-30 11:00:00	18	32.00	6.55
2024-02-30 11:29:10	20	32.10	6.84
2024-02-30 12:59:40	11	32.30	7.26

(b) Second Website Display

Figure 3.10 Second Website Display

3.7 Device Testing

Testing the accuracy of the tool is done by comparing the measurement results of the YL-69 soil moisture sensor and DHT11 temperature sensor with a calibrated tool. On the soil moisture sensor, calibration is carried out by using the American Standard Method (ASM) method. The YL-69 accuracy test data is shown in **Table 3.4**.

Table 3.4 YL-69 Sensor Accuracy Testing Data

No.	Soil Mass (g)	Water Added (ml)	Wet Soil Mass (g)	ADC Value	YL-69 Sensor (%)	ASM Method (%)	Error (%)	Accuracy (%)
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								

Then to get the accuracy test data on the DHT11 temperature sensor, it is done by comparing the temperature meter output temperature value with the output temperature value of the DHT11 sensor. The test data can be seen in **Table 3.5**.

Table 3.5 Air Temperature Sensor Accuracy Testing Data

No.	Temperature (°C)	
	Temperature Meter	DHT11
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		

In addition, the monitoring system on the website was tested to ensure that the connection through the HTTPS protocol is functioning properly and the integration between the website, database, and ESP32 is optimal. Testing is done by measuring the difference in delay time, namely by calculating the difference between the time of receiving data and the time of sending data. In this process, the sensor reading data is sent by ESP32 to the MySQL database, then forwarded to the program so that it can be displayed on the website. The website monitoring system test data can be seen in **Table 3.6**.

Table 3.6 Website Testing Data

No.	t_1	t_2	Delay (s)
1			
...			
10			

The time difference or delay Δt in data transmission is calculated using **Equation (3.1)**

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (3.1)$$

The average delay $\bar{t}$ using **Equation (3.2)**:

$$\bar{t} = \frac{\Delta t}{n} \quad (3.2)$$

Where,

Δt = website delay time (s)

$\bar{t}$ = average website delay time (s)

t_1 = data transmission time (s)

t_2 = data reception time (s)

n = number of data entries

Then testing for the tool system that uses the fuzzy logic method by comparing the value in Matlab with the output in the form of watering duration on the microcontroller. The fuzzy logic test data can be seen in **Table 3.7**.

Table 3.7 Fuzzy Logic Testing Data

N o.	Time	Input		Output (second)		Accuracy (%)	Error (%)
		Moisture	Temperature	Microcontroller	Matlab		
1.	Morning						
	Evening						
2.	Morning						
	Evening						
3.	Morning						
	Evening						
4.	Morning						
	Evening						
5.	Morning						
	Evening						

To calculate the error and accuracy values, Equations (3.3) and (3.4) are using **Equation (3.3)** and **Equation (3.4)**.

$$E = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

$$A = \left(1 - \left|\frac{Y - X_n}{Y}\right|\right) \times 100\% \quad (3.4)$$

Where:

A = Accuracy;

E = Error;

Y = Reference value;

X_n = Measured value;

$\overline{X_n}$ = Average of measured values.

3.8 Fuzzy Logic Development

In this research, the researcher uses the Mamdani fuzzy method to regulate the control system for the watering duration in an automatic plant irrigation system. In this fuzzy logic framework, there are two input variables: soil moisture level and temperature, as well as one output variable, which is the watering duration for the plants.

a. Fuzzification

The input data for the soil moisture membership function, the air temperature membership function, and the output membership function for watering duration are then formulated into linguistic variables. The linguistic variables for soil moisture, air temperature, and watering duration can be seen in **Table 3.7**, **Table 3.8**, and **Table 3.9**.

Table 3.8 Soil Moisture Membership Function (Al-Hakim et al., 2023)

Soil Moisture (%)	Linguistic Variable
60 – 67	Dry
64 – 70	Moist
67 – 75	Wet

After obtaining the input data for the soil moisture membership function, a graph is created in Matlab that shows the relationship between the three linguistic variables mentioned above. The membership function graph can be represented by a

triangular or trapezoidal curve, and the choice of curve determines the best result in the microcontroller programming. In this study, we chose the triangular curve to be used as the membership function graph for soil moisture and air temperature. The justification for the triangular curve selection can be found in **Appendix 3**. The membership graph for soil moisture is shown in **Figure 3.11**.

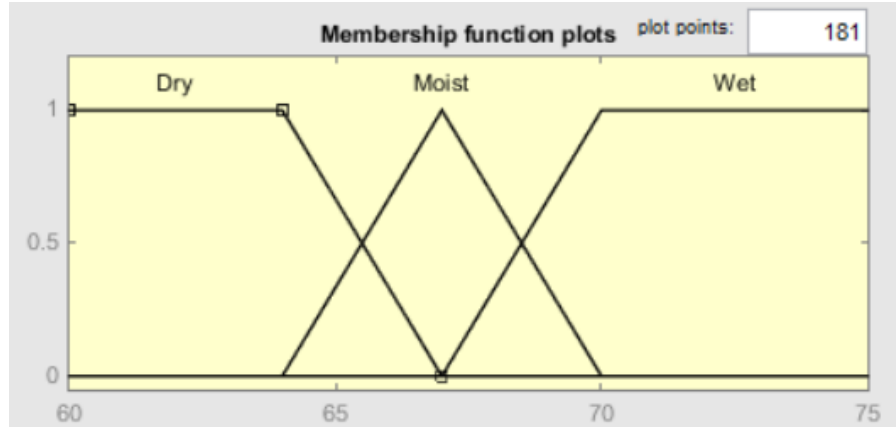


Figure 3.11 Soil Moisture Membership Graph

The membership functions for the soil moisture membership function can be seen in **Equation (3.5)**, **Equation (3.6)**, and **Equation (3.7)**.

$$\mu K [x] = \begin{cases} 0; x \geq 67 \\ \frac{67-x}{67-64}; 64 \leq x \leq 67 \\ 1; x \leq 64 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\mu L [x] = \begin{cases} 0; x \leq 64 \text{ atau } x \geq 70 \\ \frac{x-64}{67-64}; 64 \leq x \leq 67 \\ \frac{70-x}{70-67}; 67 \leq x \leq 70 \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\mu B [x] = \begin{cases} 0; x \leq 67 \\ \frac{x-70}{70-67}; 67 \leq x \leq 70 \\ 1; x \geq 70 \end{cases} \quad (3.7)$$

Where:

μK = membership function for dry soil moisture.

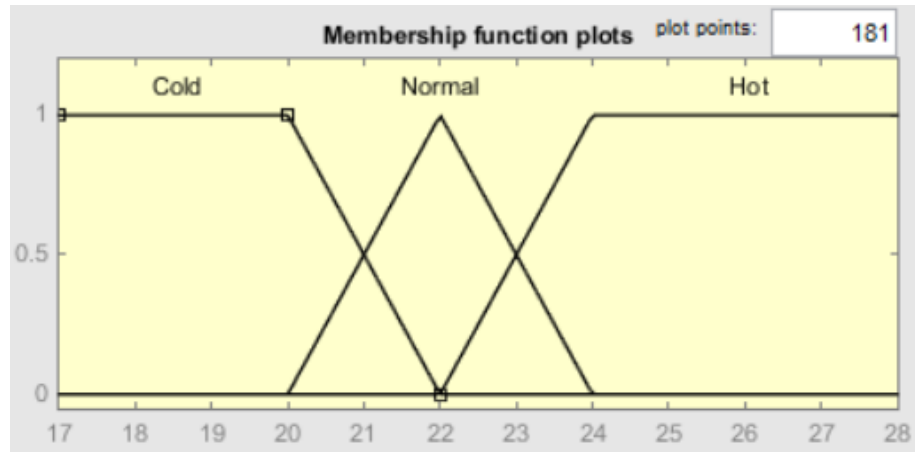
μL = membership function for moist soil moisture.

μB = membership function for wet soil moisture.

Table 3.9 Air Temperature Membership Function (Redaksi Trubus, 2021)

Temperature (°C)	Linguistic Variable
17 – 22	Cold
20 – 24	Normal
22 - 28	Hot

After obtaining the input data for the temperature membership function, a graph is created in Matlab to show the relationship between the two linguistic variables above. The temperature membership graph is shown in **Figure 3.12**.

**Figure 3.12** Temperature Membership Graph

The membership functions for the temperature membership function are shown in **Equation (3.8)**, **Equation (3.9)**, and **Equation (3.10)**.

$$\mu_D [x] = \begin{cases} 0; x \geq 22 \\ \frac{22-x}{22-20}; 20 \leq x \leq 22 \\ 1; x \leq 20 \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0; x \leq 20 \text{ atau } x \geq 24 \\ \frac{x-20}{22-20}; 20 \leq x \leq 22 \\ \frac{24-x}{24-22}; 22 \leq x \leq 24 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\mu_P [x] = \begin{cases} 0; x \leq 22 \\ \frac{x-22}{24-22}; 22 \leq x \leq 24 \\ 1; x \geq 24 \end{cases} \quad (3.10)$$

Where:

μ_D = membership function for cold temperature.

μ_N = membership function for normal temperature.

μ_P = membership function for hot temperature.

Table 3.10 Membership Function for Watering Duration (Kurniawan, 2021)

Watering Duration (seconds)	Linguistic Variable
0 – 7.5	Short
5 – 10	Normal
7.5 – 15	Long

After obtaining the input data for the watering duration membership function, a graph is created in Matlab showing the relationship between the two linguistic variables above. The membership graph for watering duration can be seen in **Figure 3.13**.

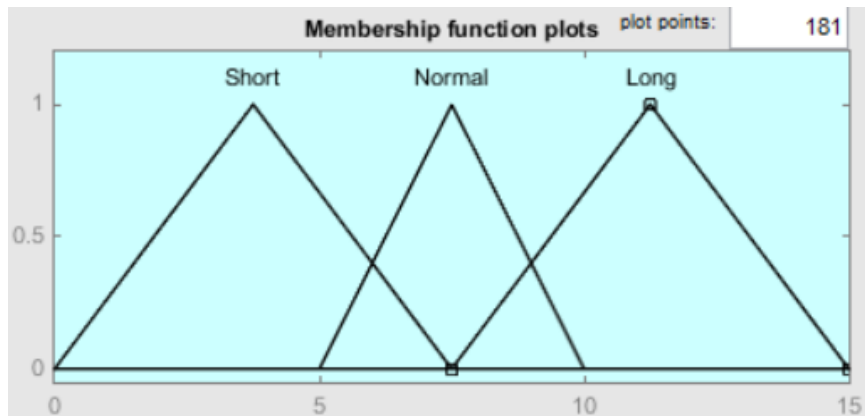


Figure 3.13 Watering Duration Membership Graph

The membership functions for the watering duration membership function can be seen in **Equation (3.11)**, **Equation (3.12)**, and **Equation (3.13)**.

$$\mu_S [x] = \begin{cases} 0; x < 0 \text{ atau } x > 7.5 \\ \frac{x-0}{3.75-0}; 0 \leq x \leq 3.75 \\ \frac{7.5-x}{7.5-5}; 3.75 \leq x \leq 7.5 \\ 1; x = 3.75 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0; x < 5 \text{ atau } x > 10 \\ \frac{x-5}{7.5-5}; 5 \leq x \leq 7.5 \\ \frac{10-x}{10-7.5}; 7.5 \leq x \leq 10 \\ 1; x = 7.5 \end{cases} \quad (3.12)$$

$$\mu_L [x] = \begin{cases} 0 ; x < 7.5 \text{ atau } x > 15 \\ \frac{x-7.5}{11.25-7.5} ; 7.5 \leq x \leq 11.25 \\ \frac{15-x}{15-11.25} ; 11.25 \leq x \leq 15 \\ 1 ; x = 11.25 \end{cases} \quad (3.13)$$

Where:

μ_S = membership function for short watering duration.

μ_N = membership function for normal watering duration.

μ_L = membership function for long watering duration.

b. *Fuzzy Rule*

In this stage, a decision-making process is carried out based on the rules that have been formulated, which results in an output decision in the form of a control action.

The fuzzy rules are shown in **Table 3.11**.

Table 3.11 Fuzzy Logic Rules

Soil Moisture Air Temperature	Dry	Moist	Wet
Cold	Long	Short	Short
Normal	Long	Normal	Short
Hot	Long	Normal	Short

Based on the rules in Table 3.10, 9 rules are obtained as follows.

(R1) *If* soil moisture is Dry and temperature is Cold, then watering duration is Long.

(R2) *If* soil moisture is Dry and temperature is Normal, then watering duration is Long.

(R3) *If* soil moisture is Dry and temperature is Hot, then watering duration is Long.

(R4) *If* soil moisture is Normal and temperature is Cold, then watering duration is Short.

(R5) *If* soil moisture is Normal and temperature is Normal, then watering duration is Normal.

(R6) *If soil moisture is Normal and temperature is Hot, then watering duration is Normal.*

(R7) *If soil moisture is Wet and temperature is Cold, then watering duration is Short.*

(R8) *If soil moisture is Wet and temperature is Normal, then watering duration is Short.*

(R9) *If soil moisture is Wet and temperature is Hot, then watering duration is Short.*

Once the rules are established, the next step involves calculation using the implication function of each rule. The fuzzy results are inputted into the implication function to obtain the minimum value for each fuzzified value using the MIN function, as shown in **Equation (3.14)**.

$$\mu A \cap B = \min (\mu A[x], \mu B[y]) \quad (3.14)$$

To proceed with the calculations, the MIN function is applied using the input soil moisture of 30.1% and temperature of 19.1°C. The fuzzy rule results from the Matlab calculation are shown in **Figure 3.14**.

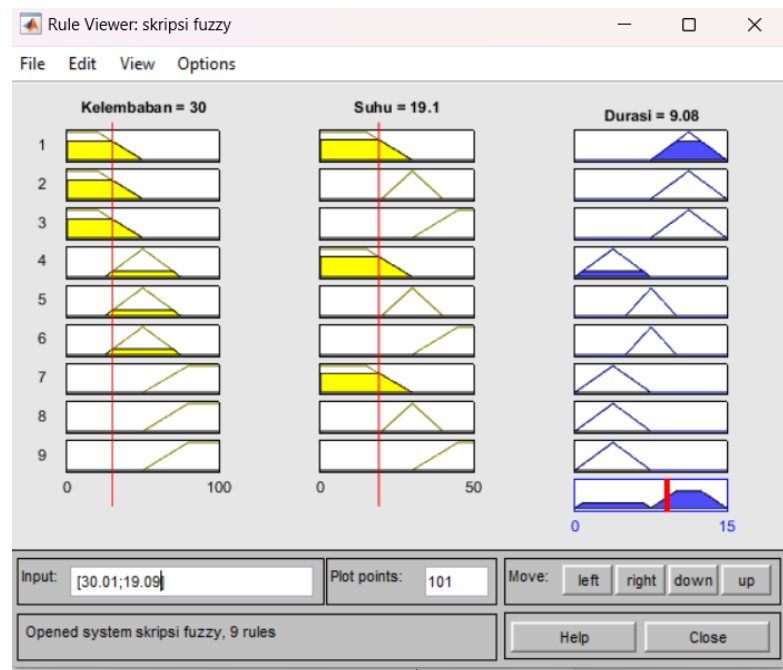


Figure 3.14 Fuzzy Rule Results

Based on **Figure 3.14**, it can be seen that the rules that meet the calculation criteria for a soil moisture of 30.1% and a temperature of 19.09°C are rule numbers one and two. These two rules that meet the criteria will be computed using the MIN implication function. The calculations can be seen below.

1. Soil moisture 30,1% including dry and normal membership.

$$\mu_K = \frac{50 - 30,1}{50 - 20} = 0,66$$

$$\mu_N = \frac{30,1 - 25}{50 - 25} = 0,20$$

2. The temperature of 19,09°C belongs to the cold membership.

$$\mu_D = \frac{30 - 19,09}{30 - 15} = 0,72$$

Aturan 1 *If* soil moisture is dry *and* temperature is cold *then* watering duration is long

$$\begin{aligned} R_1 &= \mu_K \cap \mu_D \\ &= \text{MIN} (\mu_K[30,1], \mu_D[19,09]) \\ &= \text{MIN} (0.66, 0.72) \\ &= 0.66 \end{aligned}$$

Aturan 4 *If* soil moisture is normal *and* temperature is cold *then* watering duration is short

$$\begin{aligned} R_4 &= \mu_N \cap \mu_D \\ &= \text{MIN} (\mu_N[30,1], \mu_D[19,09]) \\ &= \text{MIN} (0.20, 0.72) \\ &= 0.20 \end{aligned}$$

After the calculation results of each rule above using the MIN function implication, the next step is the composition process using the MAX method, the results of which can be seen in **Figure 3.15**.

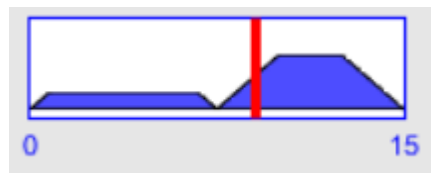


Figure 3.15 Fuzzy Rule Composition Results

c. Defuzzification

Defuzzification is the process of converting these variables into crisp values again. This study uses the Center of Area (CoA) or centroid method to carry out the defuzzification process. The calculation in the centroid method is to find the midpoint value of the watering duration membership function, where the watering duration has a short, normal, and long membership function. To find the middle value of the membership function briefly, normally, and long, the triangular area equation is used because the three membership functions have a triangular shape. The calculation of CoA on the membership function briefly is done by multiplying the base by the height then divided by two. Then to get the middle value, namely by adding the minimum range to the membership function short with an area calculation.

$$P = 10 - 0 = 10$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 0 + 3.75 = 3.75$$

The calculation of CoA on the normal membership function is done by multiplying the base by the height then divided by two. Then to get the middle value, namely by adding the minimum range to the normal membership function with an area calculation.

$$P = 10 - 5 = 5$$

$$L = \frac{5 \times 1}{2} = 2.5$$

$$\text{CoA} = 5 + 2.5 = 7.5$$

The CoA calculation in the old membership function is done by multiplying the base by the height and then dividing by two. Then to get the middle value, namely by adding the minimum range to the old membership function with an area calculation.

$$P = 15 - 7.5 = 7.5$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 7.5 + 3.75 = 11.25$$

The center value of each watering duration membership function can be seen in **Figure 3.16**.

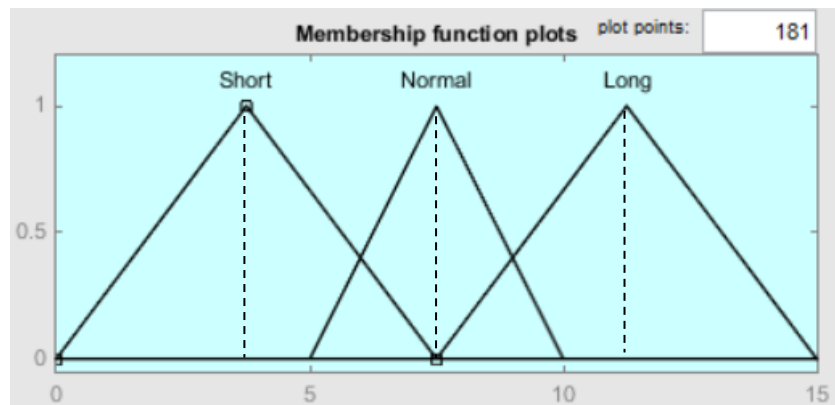


Figure 3.16 Center of Area for Watering Duration

Table 3.12 Area and Midpoint Value

Membership	Area (L)	Center of Area (CoA)
Sebentar	3.75	3.75
Normal	2.5	7.5
Lama	3.75	11.25

After obtaining the area and center point values as shown in Table 3.12, the next step is to calculate the final crisp value using the centroid method, shown in **Equation (3.15)**.

$$(CoA) = \frac{\sum_{i=1}^n aturan(i) \times CoA(i) \times L(i)}{\sum_{i=1}^n aturan(i) \times L(i)} \quad (3.15)$$

Notes:

Rule = Result of fuzzy implication.

CoA = Center point of the membership function (watering duration).

Luas = Area of the membership function (watering duration)

n = Number of rules used.

i = Index of each data (Rahmawati et al., 2021)

V. CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

5.1 Conclusions

Based on the results and discussion of this research, it can be concluded as follows.

1. The ESP32 microcontroller can be used as a control for an automatic plant watering system that works well with the measurement results of monitoring tools that can be seen through the website.
2. The DHT11 sensor used to measure air temperature is able to detect air temperature well characterized by an average accuracy of 99,37% and the YL-69 sensor used in this monitoring tool is able to detect soil moisture. This can be seen from the average accuracy rate which has a value of 97,21%.
3. The fuzzy logic method can be applied in an automatic watering system to determine the duration of watering that can be accessed through the website. This can be seen from the test results of the fuzzy logic system obtained an average accuracy value of 98,35% and an error of 1,65%.

5.2 Suggestions

Suggestions that can be made for further research are to use a camera so that plants can monitor plant conditions visually and be controlled remotely and add more sensors such as light sensors or soil pH sensors

REFERENCE

- Algorista. (2020). Sensor Kelembaban Tanah atau Soil Moisture. <https://www.algorista.com/2020/01/sensor-soil-moisture.html>. Diakses pada tanggal 02 Februari 2025 pukul 10.17 WIB.
- Al-Hakim, N., Aminudin, A., dan Iryanti, M. (2023). Sistem Kendali Kadar Air Tanah Pada Tanaman Tomat Ceri Menggunakan Mikrokontroler Esp32 Dengan Algoritma Long Short Term Memory. *Prosiding Seminal Nasional Fisika*, 9, 39–46.
- Al-Khairi, M. H. (2023). Cara Mengukur Suhu dan Kelembaban dengan DHT11 dan Arduino. <https://www.mahirelektro.com/2020/02/tutorial-menggunakan-sensor-DHT11-pada-Arduino.html>. Diakses pada tanggal 13 November 2023 pukul 22.15 WIB.
- Alordzinu, K. E., Jiuhaio, L., Appiah, S. A., Aasmi, A. A. L., Blege, P. K., and Afful, E. A. (2021). Water stress affects the physio-morphological development of tomato growth. *African Journal of Agricultural Research*, 17(5), 733–742.
- Andariesta, D. T., Fadhlika, M., Rajak, A., Aminah, N. S., dan Djamal, M. (2015). Sistem Irigasi Sederhana Menggunakan Sensor Kelembaban untuk Otomatisasi dan Optimalisasi Pengairan Lahan. *PROSIDING SKF*, 9(7), 89–93.
- Anggara Tri Bayu, Rohmah Mimin Fatchiyatur, dan Sugianto. (2018). Sistem Pengukur Kelembapan Tanah Pertanian Dan Penyiraman Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT). *Sistem Pengukur Kelembapan Tanah Pertanian Dan Penyiraman Otomatis Berbasis Internet of Things*, 1–8.
- Ardiansah, R., Susanto, R., dan Pradana, A. I. (2023). Sistem penyiraman otomatis pada tanaman dengan monitoring berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Pendidikan Teknik Electro*, 8(1), 31–38.
- Arifin, J., Zulita, L. N., dan Hermawansyah, H. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 12(1), 89–98.

- Asmazori, M., dan Firmawati, N. (2021). Rancang Bangun Alat Pendeteksi NOx dan CO Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Notifikasi Via Telegram dan Suara. *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, 5(2), 57–62.
- Asriyanik, dan Tarwati, K. (2020). Metode Fuzzy Logic Untuk Penentuan Kelayakan Penerima Beasiswa Mahasiswa Di Universitas Muhammadiyah Sukabumi. *Jurnal Sistem Informasi*, 1(2), 56-67.
- Bibitbunga. (2023). Cara Menanam Tomat Cherry dalam Pot. <https://bibitbunga.com/cara-menanam-tomat-cherry-dalam-pot/>. Diakses pada tanggal 26 Oktober 2023 pukul 20.50 WIB.
- Daniel, R., Utomo, A. D. N., dan Setyoko, Y. A. (2022). Rancangan Bangun Alat Monitoring Kelembaban, PH Tanah dan Pompa Otomatis pada Tanaman Tomat dan Cabai. *LEDGER*, 1(4), 161-170.
- Degeng, I. W., dan Prabowo, Y. (2015). Alat ukur kelembaban tanah berbasis atmega 8535. *Arsitron*, 6(1), 19–25.
- Efendi, Y. (2018). Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 4(2), 21–27.
- Fadhilah, M. D., Santoso, I. H., dan Astuti, S. (2021). Rancang bangun alat penyiraman otomatis berbasis Internet of Things dengan Notifikasi Whatsapp. *Journal Engineering*, 8(6), 11816–11828.
- Fauzi, G., dan Ardhiansyah, M. (2022). Implementasi Alat Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Internet Of Things Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Kebun Artawi Flora. *INFORMATIKA*, 3(1), 92–104.
- Febriany, N., Agustina, F., dan Marwati, R. (2017). Aplikasi Metode Fuzzy Mamdani Dalam Penentuan Status Gizi Dan Menggunakan Software Matlab. *Jurnal EurekaMatika*, 5(1), 84–96.
- Haidar, L. R. (2023). Rancang Bangun Alat Ukur Kelembapan Tanah Menggunakan Sensor Soil Moisture pada Dukuh Tambakroto. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi (Juisi)*, 2(1), 70–78.
- Harfina, D. M., & Zaini, Z. (2022). Otomatisasi Penyiraman Tomat Ceri bermedia Tanam Cocopeat berbasis RTC dengan Energi Surya di Parak Hidroponik Padang. *Jurnal Andalas: Rekayasa Dan Penerapan Teknologi*, 1(2), 47–56.
- Horan, Brendan. (2013). *Practical Raspberry Pi*. California: Apress Media.
- Jumingin, J., Atina, A., dan Juanda, A. (2022). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor DHT11. *Jurnal Ampere*, 7(2), 73-83.

- Iqbar, M. Y., dan Kartika, K. P. (2020). Rancang Bangun Lampu Portable Otomatis Menggunakan RTC Berbasis Arduino. *Antivirus: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 14(1), 61-72.
- Kamal, Firdayanti, Tyas, U. M., Buckhari, A. A., dan Pattasang. (2023). Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital. *TEKNOS: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 1(1), 1–9.
- Kalaburgi, Narayan. (2021). *Working of DHT sensor – DHT11 and DHT22*. https://nerdyelectronics.com/working-of-dht-sensor-dht11-and-dht22/#google_vignette. Diakses pada tanggal 24 Januari 2025 pukul 21.42 WIB.
- Kurniawan, W. A. (2020). Implementasi Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis dan Monitoring Berbasis *Internet of Things* Menggunakan *Fuzzy Logic Control*. *Skripsi*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kusumadewi, S., dan Purnomo, H. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Mendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Latif, N. (2021). Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 7(1), 16–20.
- Lahsasna, A., Aion, R. N., and Wah, T. Y. (2010). Enhancement of transparency and accuracy of credit scoring models through genetic fuzzy classifier. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 4(1), 136–158.
- Magdy, Khaled. (2025). *Arduino DHT11 Sensor (Humidity & Temperature) Interfacing*. <https://deepbluembedded.com/arduino-dht11-sensor-humidity-temperature/>. Diakses pada tanggal 02 Februari 2025 pada pukul 09.03 WIB.
- Mardika, A. G., dan Kartadie, R. (2019). Mengatur Kelembaban Tanah Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Y1-69 Berbasis Arduino Pada Media Tanam Pohon Gaharu. *Journal of Education and Information Communication Technology*, 3(2), 130–140.
- Maulana, E., dan Idrus, M. (2010). Pengaruh Interval Waktu Pemberian Air terhadap Produktivitas Tanaman Tomat Di Lahan kering Dataran Rendah pada Musim Kemarau *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 10(3), 207–212.
- Muntahanah, P., dan Handayani, S. (2021). Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Strategi Belajar Siswa Pada Persiapan Ujian Nasional Berbasis Komputer. *Jurnal Pseudocode*, 8(2), 108-117.
- Mursalin, S. B., Sunardi, H., dan Zulkifli, Z. (2020). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah Menggunakan Logika Fuzzy. *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, 11(1), 47–54.

- Nasir, Syed Zain. (2019). *Introduction to DHT22*. <https://www.theengineeringprojects.com/2019/02/introduction-to-dht22.html>. Diakses pada tanggal 24 Januari 2025 pukul 20.35 WIB.
- Nasution, H. (2020). Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 4–8.
- Nizam, M. N., Haris Yuana, dan Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767–772.
- Nurwijayo, Wahyu. (2023). Cara Menanam Tomat Ceri di Rumah dan Tip Perawatannya agar Berbuah Lebat. <https://gdm.id/cara-menanam-tomat-ceri/>. Diakses pada tanggal 04 Maret 2024 Pukul 22.01 WIB.
- Nyebartilmu.com. (2017). Tutorial Arduino Mengakses Module RTC DS3231. <https://www.nyebartilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-module-rtc-ds3231/>. Diakses pada tanggal 04 Maret 2024 pukul 16.46 WIB.
- Patel, A., Debnath, N. C., dan Bhusan, B. (2022). *Data Science with Semantic Technologies Theory, Practice, and Application*. USA: John Wiley dan Sons, Inc.
- Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., Putra, G. M., dan Wardhana, R. (2021). Pendeteksi Kehadiran menggunakan ESP32 untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 7(1), 37-43.
- Pratama, I. P. A. M., Suweden, I. N., and Swamardika, I. B. A. (2013). Sistem Kontrol Pergerakan Pada Robot Line Follower Berbasis Hybrid PID-Fuzzy Logic. *Prosiding Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems*, 14–15.
- Priy, S., and Rajput, A. (2023). Fuzzy Logic Intoduction. <https://www.geeksforgeeks.org/fuzzy-logic-introduction/>. Diakses pada tanggal 13 November 2023 pukul 19.30 WIB.
- Raharjo, E. B., Marwanto, S., dan Romadhona, A. (2019). Rancangan Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembapan Ruang Server Berbasis Internet of Things. *Teknika*, 6(2), 61–68.
- Rahmawati, D., Ubaidillah, A., dan Setiawan, H. (2021). *Sitem Kendali Logika Fuzzy dan Aplikasinya*. Malang: Media Nusa Creative.
- Rangan, A. Y., Amelia Yusnita, dan Muhammad Awaludin. (2020). Sistem Monitoring berbasis Internet of things pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 4(2), 168–183.

- Redaksi Trubus. (2021). *Tomat Top Pilihan Pekebun*. Depok: PT Trubus Swadaya.
- Rindengan, A. J., dan Langi, Y. A. R. (2016). *Sistem Fuzzy*. Universitas Sam Ratulangi Manado: CV. Patra Media Grafindo.
- Saifudin, dan Setiaji, A. Y. (2019). Sistem Informasi Arsip Surat (Sinau) Berbasis Web Pada Kantor Desa Karangsalam Kecamatan Baturraden. *Evolusi: Jurnal Sains dan Manajemen*, 7(2), 15-21.
- Salman, M. A., and Seno, N. I. (2012). A Comparison of Mamdani and Sugeno Inference Systems for a Satellite Image Classification. *Anbar Journal for Engineering Sciences*, 296-306.
- Sanca, P. A. (2018). Perancangan Mesin Penyiraman Taman Menggunakan Fuzzy Logic. *INAJET*, 1(1), 28-34.
- Santoso, S. P., dan Wijayanto, F. (2022). Rancang Bangun Akses Pintu dengan Sensor Suhu dan Handsanitizer Otomatis Berbasis Arduino. *Jurnal Elektro*, 10(1), 20-31.
- Sasongko, H., Salamah, Z., Pratiwi, P., dan Utami, N. P. (2021). *Rumah Sayur Inovasi Ketahanan Pangan di Samongari*. Yogyakarta: Lembaga Pendidikan Anak Usia Dini Fatimah Azzahrah.
- Satriadi, A., Wahyudi, dan Christiyono, Y. (2019). Perancangan Home Automation Berbasis NodeMcu. *Transient*, 8(1), 2685–0206.
- Singh, R., Gehlot, A., Jain, V., and Malik, P. K. (2020). *Handbook of Research on the Internet of Things Applications in Robotics and Automation*. USA: IGI Global.
- Stevanus, Setiadikarunia, D. (2013). Alat Pengukur Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler PIC 16F84. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1), 36-46.
- Thirafi, D. F. (2023). Analisis dan Implementasi Sistem Peringatan Dini Bencana Tanah Longsor Menggunakan Sensor Hujan dan Potensiometer Geser Berbasis Internet Of Things. *Skripsi*, Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
- Tim Smart Genesis. (2018). *Top Modul: Rangkuman Pengetahuan Alam Lengkap*. Yogyakarta: Genesis Learning.
- Wilianto, dan Kurniawan, A. (2018). Sejarah, Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things. *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, 8(2), 36–41.

Yaakub, S., dan Meilano, R. (2020). Potensi Sensor Kelembaban Tanah YL-69 Sebagai Pemonitor Tingkat Kelembaban Media Tanam Palawija. *Jurnal Elektronika Listrik Dan Teknologi Informasi Terapan*, 1(1), 7-16.

**DESAIN ALAT MONITORING PENYIRAMAN OTOMATIS PADA
TANAMAN TOMAT CERI MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC*
BERBASIS *Internet of Things* (IoT)**

Skripsi

Oleh

Shinta Amalia Paradita



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

DESAIN ALAT MONITORING PENYIRAMAN OTOMATIS PADA TANAMAN TOMAT CERI MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)

Oleh

Shinta Amalia Paradita

Penelitian ini telah merealisasikan alat monitoring penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan metode *fuzzy logic* untuk menentukan durasi penyiraman tanaman tomat ceri berdasarkan parameter kelembapan tanah dan suhu udara. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem penyiraman otomatis dengan menerapkan metode *fuzzy logic* serta memonitoring kelembapan tanah, suhu udara, dan durasi penyiraman. Alat monitoring ini menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler dengan sensor YL-69 untuk mengukur kelembapan tanah dengan akurasi sebesar 97,21% dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu udara yang memiliki akurasi sebesar 99,37% serta hasil penerapan metode *fuzzy logic* pada penelitian ini, diperoleh nilai akurasi rata-rata sebesar 98,35%. Berdasarkan hasil penelitian, alat ini dapat berjalan dengan baik dan dapat di monitoring menggunakan *website* maritumbuhbersama.my.id, dengan rata-rata *delay* transmisi data *fuzzy logic* ke *database* sebesar 0,94 detik. Alat ini bekerja dengan menyalakan pompa air pada pukul 08.00 dan 16.00 dengan durasi penyiraman yang ditentukan berdasarkan perhitungan *fuzzy logic*. Pompa air akan menyala pada waktu yang telah ditetapkan, sementara sistem *fuzzy logic* akan menyesuaikan lama penyiraman sesuai dengan kelembapan tanah dan suhu udara pada tanaman tomat ceri.

Kata kunci: *Fuzzy logic*, NodeMCU ESP32, durasi penyiraman, suhu udara

ABSTRACT

DESIGN OF AUTOMATIC WATERING MONITORING TOOLS ON CHERRY TOMATO PLANT USING FUZZY LOGIC METHOD BASED ON INTERNET OF THINGS (IoT)

By

Shinta Amalia Paradita

This research has realized an Internet of Things (IoT)-based automatic watering monitoring tool that uses the fuzzy logic method to determine the duration of watering cherry tomato plants based on soil moisture and air temperature parameters. The purpose of this research is to design an automatic watering system by applying the fuzzy logic method and monitoring soil moisture, air temperature, and watering duration. This monitoring tool uses NodeMCU ESP32 as a microcontroller with a YL-69 sensor to measure soil moisture with an accuracy of 97.21% and a DHT11 sensor to measure air temperature which has an accuracy of 99.37% and the results of the application of the fuzzy logic method in this study, obtained an average accuracy value of 98.35%. Based on the research results, this tool can run well and can be monitored using the maritumbuhbersama.my.id website, with an average fuzzy logic data transmission delay to the database of 0.94 seconds. This tool works by turning on the water pump at 08.00 and 16.00 with a watering duration determined based on fuzzy logic calculations. The water pump will turn on at a predetermined time, while the fuzzy logic system will adjust the watering duration according to soil moisture and air temperature in cherry tomato plants.

Keyword: *Fuzzy logic, NodeMCU ESP32, watering duration, air temperature*

**DESAIN ALAT MONITORING PENYIRAMAN OTOMATIS PADA
TANAMAN TOMAT CERI MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC*
BERBASIS *Internet of Things (IoT)***

Oleh

Shinta Amalia Paradita

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

**: Desain Alat Monitoring Penyiraman Otomatis Pada
Tanaman Tomat Ceri Menggunakan Metode Fuzzy
Logic Berbasis Internet of Things (IoT)**

Nama Mahasiswa

: Shinta Amalia Paradita

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2017041006

Jurusan

: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si

NIP. 197108291997032001

Arif Surtoto, S.Si., M.Si., M.Eng

NIP. 197109092000121001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Arif Surtoto, S.Si., M.Si., M.Eng

NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si

Sekretaris

: Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng

Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Engi Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 26 Februari 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 April 2025



Shinta Amalia Paradita
NPM. 2017041006

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada 09 Juni 2002 sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Alm. Bapak Suparno dan Ibu Usnawati. Penulis memulai pendidikan sekolah dasar di SDN Kutajaya II tahun 2008-2014, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 2 Pasar Kemis tahun 2014-2017. Penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 13 Kabupaten Tangerang pada tahun 2017-2020. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2020. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai anggota Komunikasi dan Informasi (Kominfo) Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) pada tahun 2021-2022 dan sebagai Staff Administrasi Koperasi Mahasiswa Universitas Lampung pada tahun 2022. Penulis menempuh kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Riset Konversi dan Konversi Energi (PRKKE) Badan Riset dan Inovasi (BRIN) Serpong dengan judul **“Pengembangan Sistem *Charging Station* (CS) Kendaraan Roda Dua Menggunakan SteVe dan Protokol OCPP”** dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kedondong, Kecamatan Pasar Baru, Kabupaten Pesawaran. Kemudian pada bulan Agustus 2024 – Januari 2025, penulis mengikuti program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) yaitu *Bangkit Academy*.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Cukuplah Allah sebagai penolong dan Dia adalah sebaik-baik pelindung”

(QS. Ali ‘Imran: 173)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, ku persembahkan skripsi ini kepada:

Alm. Bapak Suparno dan Ibu Usnawati

Kedua orang tua ku yang selalu mendo'akan, berusaha, dan menjadi penyemangatku dalam menjalani kehidupanku

Bapak/Ibu Dosen FISIKA FMIPA UNILA

Terima kasih atas ilmu, bimbingan, serta saran yang telah diberikan

Keluarga Besar

Terima kasih atas segala do'a dan dukungan yang tidak pernah putus

Teman-teman Fisika 2020

Terima kasih atas kebersamaan yang telah dilalui selama berkuliah di Lampung

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Monitoring dan pengendalian pH serta Kelembapan Media Tanam Sekam Padi dan Arang Pada Tanaman Cabai Untuk Urban Farming Berbasis IoT”. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 21 April 2025

Shinta Amalia Paradita

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Desain Alat Monitoring Penyiraman Tanaman Pada Tomat Ceri Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Internet of Things (IoT)”**. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang dihadapi, namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Alm. Bapak Suparno dan Ibu Usnawati serta keluarga besar yang telah menjadi sumber semangat, motivasi, dan do’a yang tiada henti dalam setiap langkah penulis meraih impian.
2. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan ilmu, dan arahan dalam proses penyusunan skripsi.
3. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya dalam penulisan skripsi.
4. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Bapak Prof. Posman Manurung, B.Sc., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.

6. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
7. Para staff Jurusan Fisika yang telah membantu penulis dalam segala keperluan administrasi dan kebutuhan akademik selama penulis menempuh studi di Universitas Lampung.
8. Ibu Cik Darwanah dan Pak Muji yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi.
9. Atu Afifah, Atu Dwina, Atu Eka, dan Atu Asya yang selalu mengarahkan dan membantu penulis dalam penyusunan skripsi.
10. Teman-teman seperjuangan, Devi, Irma, Ati, Mentari, Agriffa, Oktavia, Rana, Ninis, Bella, Ida, Indah, Ika, Fauzi, dan Marsel yang telah menjadi teman berbagi suka dan duka selama penulis menyelesaikan studi.
11. Teman-teman di luar kampus, Isno, Rizal, Nata, Mutiara Windia, Fajar, Inas, Mareta, Sakhda, dan Sylva yang selalu hadir memberikan motivasi, dukungan, dan semangat di saat penulis mengalami kesulitan.
12. Teman-teman Fisika Angkatan 2020 yang telah menjadi bagian dari perjalanan ini dan memberikan semangat dan dukungan yang begitu berarti.

Semoga Allah SWT dapat membalas segala kebaikan dengan yang lebih baik dan mempermudah segala urusannya.

Bandar Lampung, 26 Februari 2024
Penulis,

Shinta Amalia Paradita

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah	5
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait.....	6
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 <i>Internet of Things</i> (IoT)	8
2.2.2 Tomat Ceri.....	10
2.2.3 <i>Fuzzy Logic</i>	12
2.2.4 ESP32	23
2.2.5 Sensor Suhu DHT11.....	25

2.2.6	<i>Soil Moisture Sensor YL-69</i>	28
2.2.7	Relay.....	30
2.2.8	<i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	32
2.2.9	<i>Software Arduino IDE</i>	33
2.2.10	Kelembapan Tanah	35

III. METODE PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	36
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	36
3.2.1	Alat	36
3.2.2	Bahan.....	37
3.3	Prosedur Penelitian	38
3.4	Perancangan Alat	40
3.5	Perancangan <i>Software</i>	44
3.6	Pembuatan <i>Website</i>	46
3.7	Pengujian Alat	47
3.8	Pembuatan <i>Fuzzy Logic</i>	50

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Desain Sistem	60
4.2	Pengujian dan Kalibrasi Sensor YL-69	62
4.3	Pengujian dan Kalibrasi Sensor DHT11.....	66
4.4	Pengujian <i>Fuzzy Logic</i>	69
4.5	Pengujian Sistem <i>Monitoring Website</i>	79
4.6	Analisis Sistem Monitoring Metode <i>Fuzzy Logic</i>	79
4.6.1	Hasil Monitoring menggunakan <i>PhpMyAdmin</i>	80
4.6.2	Hasil Monitoring Menggunakan <i>Website</i>	80
4.7	Implementasi Sistem Pada Tanaman Tomat Ceri	82

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1	Simpulan.....	86
5.2	Saran	86

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Perangkat-Perangkat IoT	9
Gambar 2.2 Tomat Ceri	11
Gambar 2.3 Fungsi Keanggotaan Bentuk Segitiga	14
Gambar 2.4 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium.....	14
Gambar 2.5 Grafik Himpunan Keanggotaan Kelembapan Tanah.....	16
Gambar 2.6 Grafik Himpunan Keanggotaan Suhu.....	17
Gambar 2.7 Grafik Himpunan Timer	19
Gambar 2.8 Nilai Tengah dari Fungsi Keanggotaan <i>Timer</i>	22
Gambar 2.9 Susunan Pin ESP32 30 GPIO	24
Gambar 2.10 Sensor Suhu DHT11	25
Gambar 2.11 <i>Humidity Sensing Component</i>	27
Gambar 2.12 Karakteristik Termistor NTC.....	27
Gambar 2.13 <i>Soil Moisture</i> YL-69	28
Gambar 2.14 Modul Sensor YL-69	29
Gambar 2.15 Relay	31
Gambar 2.16 <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD)	32
Gambar 2.17 <i>Software</i> Arduino	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.2 Diagram Blok.....	40
Gambar 3.3 Rangkaian DHT11	41
Gambar 3.4 Rangkaian Sensor YL-69.....	41
Gambar 3.5 Rangkaian LCD	42
Gambar 3.6 Rangkaian Relay dan Pompa	42
Gambar 3.7 Skema Alat Penyiraman Otomatis.....	43

Gambar 3.8 Skema 3D Penyiraman Otomatis.....	44
Gambar 3.9 Diagram Alir Penyiraman Otomatis	45
Gambar 3.10 Tampilan Kedua Website	47
Gambar 3.11 Grafik Keanggotaan Kelembapan Tanah.....	51
Gambar 3.12 Grafik Keanggotaan Suhu	53
Gambar 3.13 Grafik Keanggotaan Durasi Penyiraman.....	54
Gambar 3.14 Hasil Fuzzy Rule	56
Gambar 3.15 Hasil Komposisi Fuzzy Rule	57
Gambar 3.16 Nilai Tengah Durasi Penyiraman	58
Gambar 4.1 Rangkaian Alat Monitoring Tampak Dalam.....	60
Gambar 4.2 Rangkaian Alat Monitoring Tampak Luar.....	61
Gambar 4.3 Penempatan Alat Monitoring.....	62
Gambar 4.4 (a) Massa tanah kondisi kering; (b) Massa tanah kondisi basah	63
Gambar 4.5 Pengujian Sensor YL-69.....	63
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Sensor YL-69 dengan Metode ASM.....	66
Gambar 4.7 Kalibrasi DHT11	67
Gambar 4.8 Grafik Pengujian Sensor DHT11 dengan <i>Temperature Meter</i>	68
Gambar 4.9 Grafik Membership Kelembapan Tanah	70
Gambar 4.10 Grafik Keanggotaan Suhu	71
Gambar 4.11 Grafik Keanggotaan Durasi Penyiraman.....	72
Gambar 4.12 Fungsi Keanggotaan Suhu	73
Gambar 4.13 Fungsi Keanggotaan Kelembapan Tanah	74
Gambar 4.14 Pembuktian Perhitungan Matlab	78
Gambar 4.15 Database PhpMyAdmin.....	80
Gambar 4.16 Tampilan Awal <i>Website</i>	81
Gambar 4.17 Tampilan Grafik Pada <i>Website</i>	81
Gambar 4.18 Tampilan Tabel <i>Fuzzy</i> Pada <i>Website</i>	81
Gambar 4.19 Lahan Tomat Ceri	83
Gambar 4.20 Pertumbuhan Tomat Ceri di Kontrol (a) Usia 8 minggu; (b) Usia 9 minggu; (c) Usia 11 minggu.....	83
Gambar 4.21 Pertumbuhan Tomat Ceri Tanpa di Kontrol (a) Usia 8 minggu; (b) Usia 9 minggu; (c) Usia 11 minggu	84

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Himpunan Keanggotaan Kelembapan Tanah.....	16
Tabel 2.2 Himpunan Keanggotaan Suhu.....	17
Tabel 2.3 Himpunan Keanggotaan <i>Timer</i>	18
Tabel 2.4 Nilai Luas dan Titik Tengah.....	22
Tabel 2.5 Spesifikasi NodeMCU ESP32.....	24
Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor DHT11	26
Tabel 3.1 Software.....	37
Tabel 3.2 <i>Hardware</i>	37
Tabel 3.3 Bahan.....	38
Tabel 3.4 Data Pengujian Akurasi YL-69	47
Tabel 3.5 Data Pengujian Akurasi Suhu Udara.....	48
Tabel 3.6 Data Pengujian <i>Fuzzy Logic</i>	50
Tabel 3.7 Himpunan Keanggotaan Kelembapan Tanah.....	51
Tabel 3.8 Himpunan Keanggotaan Suhu Udara	52
Tabel 3.9 Himpunan Keanggotaan Durasi Penyiraman	53
Tabel 3.10 Aturan <i>Fuzzy Logic</i>	55
Tabel 3.11 Nilai Luas dan Titik Tengah.....	59
Tabel 4.1 Pengujian nilai ADC Sensor YL-69 dengan Metode ASM	64
Tabel 4.2 Pengujian Sensor YL-69 dengan Metode ASM.....	65
Tabel 4.3 Pengujian Sensor DHT11	68
Tabel 4.4 Pengujian Fuzzy Logic.....	69
Tabel 4.5 Keanggotaan Kelembapan Tanah.....	70
Tabel 4.6 Keanggotaan Suhu Udara.....	71
Tabel 4.7 Himpunan Keanggotaan Durasi Penyiraman	72

Tabel 4.8 Pembuatan Fuzzy Rule.....	76
Tabel 4.9 Rule Luas dan CoA	77
Tabel 4.10 Data Transmisi Fuzzy Logic Ke Database MySQL	79

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tomat ceri merupakan salah satu jenis tomat yang memiliki ukuran kecil jika dibandingkan dengan tomat sayur. Sayur yang dikenal mempunyai nama ilmiah *Solanum lycopersicum var. cerasiforme* ini, pertama kali dibudidayakan di Amerika Selatan. Tomat ceri memiliki ukuran kecil dengan diameter 3-6 cm. Warna tomat ceri biasanya merah cerah sampai kekuningan. Tomat ceri tinggi akan vitamin dan mineral yang dapat meningkatkan imunitas tubuh. Vitamin dengan kandungan tertinggi pada tomat ceri adalah vitamin A dan vitamin C, yang memainkan peran utama dalam banyak fungsi tubuh. Beberapa karakteristik dari tomat ceri diantaranya; tomat ceri yang memiliki kualitas yang baik memiliki berat 10-20 gram. Suhu optimal yang diperlukan untuk pertumbuhan tomat ceri berkisar antara 24°-30°. Selain itu, kelembapan yang dibutuhkan untuk pertumbuhan sebesar 80% dan tomat ini biasanya dapat tumbuh pada ketinggian 1000-1200 mdpl (Harfina dan Zaini, 2021).

Tomat ceri termasuk salah satu tanaman sayuran yang sangat peka terhadap kekurangan air. Upaya untuk mengatasi ketersediaan air bagi tanaman tomat ceri dilakukan diantaranya melalui penggunaan sistem irigasi hemat air untuk efisiensi air yang terbatas pada budidaya tanaman (Maulana dan Idrus, 2010). Permasalahan yang timbul pada budidaya tomat ceri terletak pada kurangnya kadar air dalam tanah dan suhu udara sehingga diperlukan pemberian air yang cukup (Kasiran, 2003). Efek dari kekurangan kadar air pada persentase 50-55% tersebut untuk kualitas dari tumbuh akan berdampak pada konsentrasi garam dalam buahnya, dan

hasil yang rendah (jumlah buah, ukuran, dan lain-lain.), sedangkan dengan kadar air yang normal 60-65% dan 70-75% serta tanah yang memiliki kadar air 80-100% memiliki hasil buah yang lebih baik dengan umur simpan yang lebih rendah (Alordzinu, 2021).

Kadar air tanah merupakan salah satu pengaruh terbesar dalam pertumbuhan tomat ceri. Meskipun demikian, pemberian air pada tumbuhan tomat ceri sampai saat ini masih dilakukan secara manual. Sebagai tanaman hortikultura, tomat ceri memerlukan perawatan cermat, termasuk penyiraman yang tepat dan terjadwal. Namun, kesibukan petani sering kali menjadi penghalang untuk melakukan penyiraman manual karena terkadang petani tidak sempat untuk menyirami tanaman yang membutuhkan air. Kondisi ini dapat berdampak negatif pada pertumbuhan dan hasil panen tanaman tersebut. Di sisi lain, penggunaan sistem penyiraman otomatis yang memiliki beberapa keunggulan yang dapat mengatasi masalah penyiraman manual. dengan penyiraman otomatis, jumlah air yang diberikan dapat diatur dengan lebih tepat sesuai kebutuhan tanaman, serta jadwal penyiraman dapat diprogram untuk menjaga kelembapan tanah yang optimal. Hal ini dapat membantu mengurangi risiko kekeringan atau kelebihan air yang dapat merugikan pertumbuhan dan hasil panen tanaman tomat ceri (Al-Hakim dkk, 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh Latif (2021) mengenai penyiraman otomatis menggunakan sensor *soil moisture* dan sensor suhu serta penelitian yang dilakukan oleh Fadhilah dkk (2021) tentang rancang bangun alat penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* dengan notifikasi *WhatsApp*. Kedua sistem ini telah berhasil dikembangkan. Namun kekurangan kedua penelitian tersebut adalah tidak terdapat durasi penyiraman. Meskipun air hanya mengalir ketika kelembapan tanah di bawah ambang batas, kedua sistem ini tidak memperhitungkan durasi penyiraman. Akibatnya, air akan terus dialirkan bahkan ketika tanah sudah cukup lembab. Kondisi ini dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Kedua sistem ini tidak dapat menyesuaikan kondisi dan kebutuhan air yang sebenarnya diperlukan oleh tanaman, sehingga menyebabkan pemborosan air. Untuk mengatasi hal ini, metode *fuzzy logic* menjadi solusi yang efektif. *Fuzzy logic* akan memproses nilai

kelembapan tanah dan suhu udara sebagai *input* dan nantinya akan diperoleh *output* berupa durasi penyiraman. Dengan menggunakan metode ini, ketidakpastian dalam kondisi lingkungan seperti suhu udara dan kelembapan tanah dapat ditangani dengan baik. *Fuzzy logic* membantu menghemat air, mengurangi pemborosan air, dan memastikan tanaman mendapatkan air yang cukup untuk tumbuh dengan baik (Rahmawati, dkk., 2021). Sebagai cabang ilmu *Artificial Intelligence*, *fuzzy logic* mempunyai fungsi untuk “meniru” kecerdasan yang dimiliki manusia untuk melakukan sesuatu dan mengimplementasikannya ke suatu perangkat, termasuk dalam sistem penyiraman otomatis (Sanca, 2018). Dengan demikian, *fuzzy logic* menjadi peran penting dalam menangani kondisi yang tidak pasti dalam pengelolaan tanaman, seperti tingkat kelembapan tanah, suhu, dan kebutuhan air (Mursalin dkk., 2020).

Ada beberapa penelitian mengenai alat penyiraman otomatis yang menggunakan metode *Fuzzy Logic*, sensor suhu, dan kelembapan tanah yang sebelumnya telah dilakukan, yaitu implementasi alat penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *fuzzy logic* pada kebun Artawi Flora (Fauzi dan Ardiansyah, 2022). Pada penelitian ini alat penyiraman tanaman otomatis tersebut menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor YL-69 untuk mengukur kelembapan tanah dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu udara. Penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic* sebagai sistem kendali untuk mengontrol *on/off* pompa air. Kemudian sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah menggunakan logika *fuzzy* (Mursalin dkk., 2020), pada penelitian ini menggunakan Arduino uno sebagai pengendali, sensor kelembapan tanah untuk mengukur kelembapan tanah, *Liquid Cristal Display* (LCD) untuk menampilkan nilai kelembapan tanah. Sistem ini juga menggunakan metode logika *fuzzy* untuk mengatur durasi penyiraman dan kecepatan pompa dalam penyiraman. Penelitian lain yaitu sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor DHT11 (Jumingin dkk., 2022), sistem ini menggunakan ESP32 sebagai sistem pengendali utama serta menggunakan sensor DHT11 untuk mendeteksi suhu dan kelembapan disekitar tanaman.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas, maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem alat penyiraman otomatis yang memanfaatkan *Fuzzy Logic* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang digunakan untuk menentukan durasi waktu penyiraman di dalam tanaman tomat ceri. Penelitian ini akan dilengkapi dengan ESP32 sebagai perangkat pusat untuk sistem kendali. Sensor YL-69 akan digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah, sementara sensor suhu DHT11 akan digunakan untuk mengukur suhu tanah. Dalam sistem penyiraman otomatis ini, aliran air akan dikendalikan melalui penggunaan relay yang terhubung dengan pompa air. Hasil pengukuran akan diproses oleh ESP32 dan dapat diakses melalui perangkat laptop dan *smartphone* melalui *website*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan membuat suatu alat penyiraman otomatis pada tanaman tomat ceri menggunakan ESP32, DHT11, dan sensor YL-69 berbasis *Internet of Things* (IoT)?
2. Bagaimana menerapkan metode *fuzzy logic* untuk menentukan durasi waktu penyiraman dalam tanaman tomat ceri?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai sistem kendali untuk sistem penyiraman tanaman secara otomatis.
2. Menggunakan DHT 11 dan sensor YL-69 untuk mengukur suhu udara dan kelembapan tanah.
3. Menerapkan metode *fuzzy logic* untuk menentukan durasi penyiraman yang akan ditampilkan pada *website*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat membantu petani modern dalam memantau serta mengelola tanaman tomat ceri dengan lebih efisien.
2. Memudahkan proses penyiraman tanaman secara otomatis pada pertanian.
3. Mempermudah petani modern dalam meminimalisasi tenaga serta biaya untuk melakukan penyiraman.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP32.
2. Monitoring tanaman tomat menggunakan *website*.
3. Hanya berfokus pada sistem *monitoring* dan pengendalian sistem penyiraman untuk tanaman tomat ceri.
4. *Display* LCD hanya menampilkan data kelembapan tanah dan suhu udara.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait yang dilakukan oleh (Fauzi dan Ardiansyah, 2022) yaitu implementasi alat penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *fuzzy logic* pada kebun artawi *flora*. Penelitian tersebut menggunakan metode *fuzzy logic* mamdani sebagai metode untuk *system control*. Metode ini digunakan untuk berhadapan pada masalah yang mengandung unsur ketidakpastian dan metode ini sangat fleksibel serta mempunyai toleransi pada data dan lebih intuitif yang dapat diterima oleh banyak pihak. Metode *fuzzy logic* memiliki beberapa tahapan yaitu *fuzzyfikasi*, inferensi, dan *defuzzyfikasi* yang dimana hasil dari *defuzzyfikasi*nya adalah sebesar 98,96. Penelitian tersebut menerapkan 2 *input* yaitu kelembapan tanah dan suhu serta 1 *output* yaitu pompa air dalam logika *fuzzy*. Metode pengembangan yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu metode *prototype*.

Kemudian sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah menggunakan logika *fuzzy* (Mursalin dkk., 2020). Penelitian tersebut bertujuan untuk menerapkan logika *fuzzy* pada otomatisasi penyiraman tanaman berdasarkan kelembapan tanah. Penelitian tersebut dilakukan dengan merancang, membuat dan mengimplementasikan komponen-komponen sistem yang meliputi Arduino uno sebagai pengendali, pompa air, *Liquid Cristal Display* (LCD) untuk menampilkan nilai kelembapan tanah. Hasil pengujian kelembapan tanah pada saat volume air 80 ml didapatkan nilai sensor yaitu 772.3 dan nilai kelembapan tanah sebesar 24,5%. Pada penelitian tersebut dilakukan 20 kali pengujian dan diperoleh hasil

pengujian dimana saat tanah kering bernilai 3,21% maka waktu penyiraman berdurasi lama serta pompa akan menyala dan menyiram sesuai dengan lama waktu penyiraman. Kemudian jika tanah tersebut basah bernilai 50,19%, maka tanaman tersebut tidak akan disiram dan pompa tidak akan hidup.

Sistem penyiraman otomatis pada tanaman dengan *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) (Ardiansah dkk., 2023). Penelitian ini bertujuan membangun sistem *smart farming* menggunakan Internet of Things yaitu penyiram tanaman otomatis. Penelitian tersebut menggunakan NodeMCU sebagai otak dari sistem, relay untuk menghidupkan dan mematikan pompa air, LCD (*Liquid Crystal Display*) untuk menampilkan kondisi tanah dan pompa, Blynk untuk memonitoring data sensor dan email untuk informasi waktu penyiraman tanaman cabai. Hasil dari penelitian ini adalah alat ini berjalan dengan baik. Saat kondisi kelembapan tanah kurang dari 60% maka proses penyiraman tanaman cabai akan berjalan dengan otomatis. Sedangkan kondisi tanah antara 60% – 70% proses penyiraman tanaman cabai otomatis tidak berjalan, namun dapat dijalankan dengan aplikasi. Untuk kondisi tanah lebih dari 70% maka baik penyiraman tanaman cabai otomatis maupun manual (aplikasi) tidak berjalan.

Sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor DHT11 (Jumingin dkk., 2022), penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan, dimana rancangan yang dibuat menyesuaikan dengan keadaan di lapangan. Penelitian tersebut menggunakan *software* Arduino IDE dan ESP32 sebagai sistem kendali utama yang akan mengatur semua komponen *input* dan *output*. ESP32 berbasis *wifi* yang diprogram dengan bahasa pemrograman C menggunakan *software* Arduino IDE untuk mengirimkan perintah kepada sensor DHT11, LCD I2C 16x2, dan relay. Perintah yang diterima oleh relay adalah untuk menyalakan dan mematikan pompa air. Pompa air terhubung dengan relay dan arus listrik secara langsung. Data yang dibaca oleh sensor juga akan diterima oleh mikrokontroler kemudian akan

diteruskan ke relay. Sensor DHT11 digunakan untuk mendeteksi suhu udara di sekitar tanaman, keluarannya akan ditampilkan pada layar LCD I2C 16x2 sehingga pengguna dapat melihat nilai temperature udara secara realtime. Keluaran DHT11 juga akan mengirimkan perintah on/off pada relay. Hasil dari penelitian ini adalah relay akan menyala secara otomatis ketika sensor DHT11 mendeteksi suhu udara lebih dari 30°C dan pada saat itu secara otomatis juga pompa akan mengalirkan air. Ketika sensor DHT11 mendeteksi suhu udara $\leq 30^{\circ}\text{C}$ relay akan mati secara otomatis dan pompa air tidak akan menyala sehingga air akan berhenti mengalir.

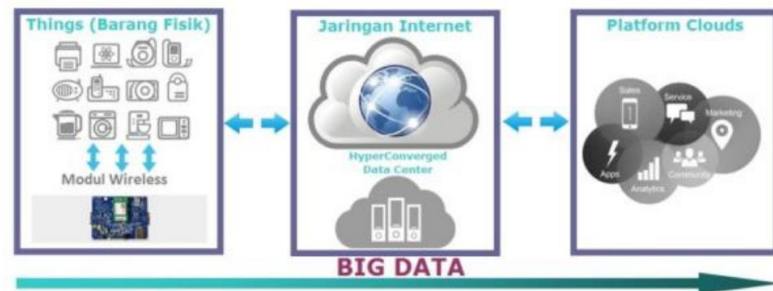
Rancang bangun alat penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things* dengan notifikasi *WhatsApp* (Fadhilah dkk., 2021). Pada penelitian tersebut digunakan ESP 32 sebagai mikrokontroler dan menggunakan sensor *soil moisture* YL-69 dan sensor suhu DHT11 untuk mengukur kelembapan tanah maka hasil pengukuran kelembapan tanah yang akan diperoleh akan dikirim ke *smartphone* pemilik dalam bentuk notifikasi *WhatsApp*. Keypad pada penelitian ini digunakan untuk mengganti tingkat kelembapan yang diinginkan dan dapat menyesuaikan dengan semua tanaman. Ketika sensor mendeteksi tanah sedang kering, ESP32 akan memerintahkan relay menghidupkan pompa air dan menyiram tanaman. Hasil pengujian pada penelitian ini yaitu sistem penyiraman otomatis dapat berfungsi dengan baik dan berhasil mendapatkan informasi kelembapan tanah dari aplikasi *WhatsApp*. Dari pengujian dan analisis QoS didapatkan nilai QoS terbaik saat *free hours* dini hari dengan *delay* terkecil sebesar 1,895 detik, *Throughput* terbesar yaitu 2241,7667 bps, nilai *packetloss* terendah yaitu 0%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things atau dikenal juga dengan IoT, yaitu sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus yang memungkinkan untuk menghubungkan mesin,

peralatan, dan benda fisik lainnya dengan sensor jaringan dan aktuator untuk memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga memungkinkan mesin untuk berkolaborasi dan bahkan bertindak berdasarkan informasi baru yang diperoleh secara independen.



Gambar 2.1 Perangkat-Perangkat IoT (Efendi, 2018)

Dari **Gambar 2.1** dikatakan pada dasarnya perangkat IoT terdiri dari sensor sebagai media pengumpul data, sambungan internet sebagai media komunikasi dan server sebagai pengumpul informasi yang diterima sensor dan untuk diolah. Ide awal *Internet of Things* pertama kali dimunculkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 di salah satu presentasinya. Banyak yang memprediksi bahwa pengaruh Internet of Things adalah “*The Next Big Thing*” di dunia teknologi informasi, hal ini karena IoT menawarkan banyak potensi yang bisa digali (Efendi, 2018)

Cara kerja dari IoT yaitu setiap benda harus memiliki sebuah alamat *Internet Protocol* (IP). Alamat *Internet Protocol* (IP) adalah sebuah identitas dalam jaringan yang membuat benda tersebut bisa diperintahkan dari benda lain dalam jaringan yang sama. Selanjutnya, alamat *Internet Protocol* (IP) dalam benda-benda tersebut akan dikoneksikan ke jaringan internet. Saat ini koneksi internet sudah sangat mudah didapatkan. Dengan demikian pengguna dapat memantau benda bahkan memberi perintah (*remote control*) kepada benda tersebut dengan koneksi internet. Setelah sebuah benda memiliki alamat IP dan terkoneksi dengan internet, pada benda tersebut juga dipasang sebuah sensor. Sensor pada benda memungkinkan benda tersebut memperoleh informasi yang dibutuhkan. Setelah memperoleh informasi, benda tersebut dapat mengolah informasi itu sendiri, bahkan

berkomunikasi dengan benda-benda lain yang memiliki alamat IP dan terkoneksi dengan internet juga. Terjadi pertukaran informasi dalam komunikasi antara benda-benda tersebut. Setelah pengolahan informasi selesai, benda tersebut dapat bekerja dengan sendirinya, atau bahkan memerintahkan benda lain juga untuk ikut bekerja. Hal ini merupakan kelebihan dari IoT (Wilianto dan Kurniawan, 2018).

2.2.2 Tomat Ceri

Tanaman tomat ceri merupakan tanaman tahunan yang bereproduksi dalam satu tahun atau satu musim yang berbentuk perdu mempunyai batang bulat dan lunak. Sewaktu masih muda mudah patah, sedangkan setelah tua menjadi keras dan berkayu. Seluruh permukaan batangnya berbulu halus. Tanaman tomat ceri memiliki pertumbuhan batang indeterminate. Daun tomat ceri umumnya lebar, menyirip berseling dan permukaanya berbulu. Tomat ceri memiliki sistem perakaran tunggang dengan akar yang bercabang. Ciri fisik tomat ceri yaitu berukuran lebih kecil dari tomat sayur, berwarna merah cerah. Tomat ceri memiliki warna merah dengan permukaan mengkilap. Bentuknya bulat dengan diameter 3-6 cm. Tomat ceri jarang digunakan oleh masyarakat Indonesia. Akan tetapi tomat ini memiliki berbagai kandungan yang sangat bermanfaat. Kandungan gizi tomat ceri per 100 gram BDD (Berat bahan yang Dapat Dimakan) terdiri atas energi, protein, lemak, karbohidrat, serat, natrium, dan kalium. Tomat ceri kaya akan vitamin A dan vitamin C. Tomat ceri mengandung likopen yang bermanfaat bagi Kesehatan jantung dan sistem peredaran darah. Tomat ceri dapat diolah menjadi salad, lalapan dan garnish. Selain diolah dalam olahan makanan juga dapat digunakan dalam olahan minuman berupa jus atau *infuse water* (Sasongko dkk., 2021).

Tomat ceri cocok ditanam di tempat berketinggian 600 – 1.500 meter di atas permukaan laut dengan kisaran suhu 17-28°C (Redaksi Trubus, 2021). Kebutuhan air pada tanaman tomat ceri bervariasi setiap minggunya, dan pengelolaan yang efisien dapat membantu mengurangi pemborosan air akibat kelebihan atau kekurangan pasokan. Jika kadar air hanya 50-55%, kualitas buah akan terpengaruh, dengan peningkatan konsentrasi garam, hasil panen yang lebih rendah (dari segi

jumlah dan ukuran), serta tekstur buah yang terlalu padat. Sementara itu, kadar air yang lebih optimal, yakni 60-65% dan 70-75%, serta kondisi tanah dengan kadar air 80-100%, menghasilkan buah dengan kualitas lebih baik, meskipun dengan umur simpan yang lebih pendek (Al-Hakim dkk., 2023). Berikut tampilan dari tomat ceri yang dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Tomat Ceri (Bibitbunga, 2023)

Perawatan tanaman tomat ceri sebenarnya cukup mudah dan serupa dengan perawatan tanaman lainnya, yaitu sebagai berikut.

1. Pembuatan Penopang Tanaman

Agar tanaman dapat berdiri tegak dan tumbuh dengan baik maka perlu dibuat sebuah penopang tanaman atau ajir. Penopang bisa dibuat dengan kayu, bambu, atau tongkat plastik. Penopang atau ajir perlu dipasang saat tanaman sudah tumbuh kurang lebih 15 – 21 cm. Jangan lupa memberi jarak penopang dengan tanaman sekitar 5 – 11 cm.

2. Penyiraman

Lakukan perawatan tanaman tomat ceri dengan melakukan penyiraman secara rutin bergantung dengan kondisi media tanam. Jika media tanam cenderung kering, maka lakukan penyiraman 2 kali sehari, di saat pagi dan juga sore hari.

3. Pemangkasan Anak Daun

Pemangkasan pada anak daun dilakukan agar tanaman tomat ceri bisa tumbuh miring dan pemangkasan pada anak daun harus di antara ketiak daun. Jika tanaman sudah membentuk kurang lebih 5 – 7 buah tomat maka dapat dilakukan pemotongan pada ujung tunas tanaman, sehingga tanaman tomat akan semakin berbuah lebih banyak lagi.

4. Pemupukan

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, lakukan pemupukan secara rutin berkala, yakni tiap 10 hari sekali pada pagi hari ataupun sore hari. Hindari penyiraman dan pemupukan di siang hari agar tanaman bisa beradaptasi dengan mudah (Nurwijayo, 2023).

2.2.3 Fuzzy Logic

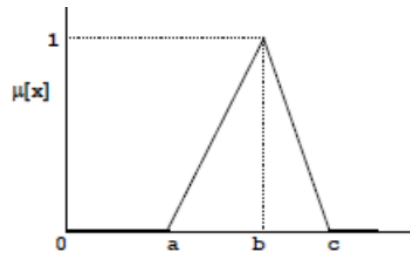
Sejarah *Fuzzy Logic* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh pada tahun 1965 orang Iran yang menjadi guru besar di *University of California*. Ide dasar fuzzy set yang meliputi *inclusion*, *union*, *intersection*, *complement*, *relation*, dan *convexity*. Lotfi Zadeh mengatakan integrasi logika *fuzzy* kedalam sistem informasi dan rekayasa proses adalah menghasilkan aplikasi seperti sistem keputusan lain selain iya (logika 1) dan tidak (logika 0). Oleh karena itu *fuzzy logic* sangat berbeda

jauh dari alur logaritma pemrograman (Nasution, 2020). *Fuzzy* merupakan suatu bidang dalam logika yang menggunakan tingkat keanggotaan dalam suatu himpunan, sehingga keanggotaan tidak hanya pada nilai benar atau salah. Secara etimologis, istilah “*fuzzy*” merujuk pada ketidakjelasan, ketidakpastian, dan area abu-abu. Secara istilah, ini adalah bentuk representasi pengetahuan yang cocok untuk kondisi yang bersifat humanis yang tidak dapat diatasi secara tepat, melainkan disesuaikan dengan konteksnya (Rindengan dan Langi, 2016)

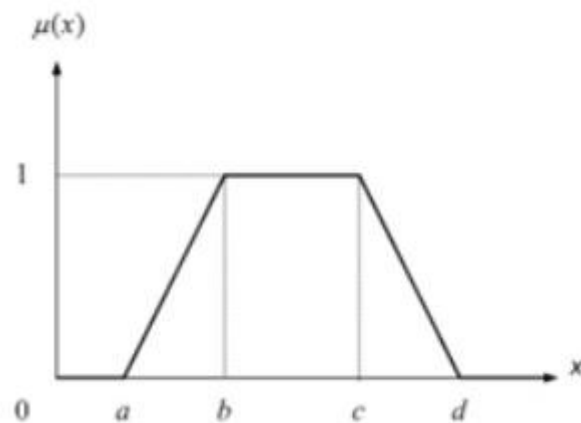
Metode *Fuzzy Mamdani* adalah salah satu metode yang digunakan dalam pendukung keputusan dimana memiliki kelebihan yakni, lebih intuitif, diterima oleh banyak pihak, metode ini bisa meramal pada bidang statistik. Metode *Fuzzy Mamdani* sering juga dikenal dengan nama metode MIN – MAX. Metode *Fuzzy Mamdani* memiliki kelebihan yakni, lebih intuitif, diterima oleh banyak pihak, bisa diterapkan pada bidang statistik, menghasilkan *output* yang lebih dekat dengan keadaan sebenarnya, sangat fleksibel dan memiliki toleransi pada data yang ada pendekatan lebih efisien menggunakan angka disbanding dengan metode peramalan yang lain (Muntahanah dkk., 2021). Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output diperlukan 4 tahapan, diantaranya:

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy* atau Fuzzifikasi.

Pada metode Mamdani baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*, dan di setiap variabel *input* maupun *output* terdapat variabel linguistic (Kusumadewi dan Purnomo, 2004). Fuzzifikasi adalah proses mengubah nilai masukan yang bersifat himpunan klasik (*crisp set*) ke dalam nilai *fuzzy* yang berupa variabel linguistic dan derajat keanggotaan (Pratama *et al.*, 2013). Nilai derajat keanggotaan dihitung sesuai dengan bentuk fungsi keanggotaan. Bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan adalah bentuk segitiga dan trapesium seperti **Gambar 2.3** dan **Gambar 2.4**.



Gambar 2.3 Fungsi Keanggotaan Bentuk Segitiga (Rindengan dan Langi, 2016)



Gambar 2.4 Fungsi Keanggotaan Bentuk Trapesium (Asriyanik dan Tarwati, 2020)

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada Metode Mamdani, setelah diperoleh variabel input dan output, Langkah selanjutnya adalah menentukan aplikasi fungsi implikasi. Fungsi implikasi berguna untuk mengetahui hubungan antara premis-premis dan konklusinya (Febriany, 2017). Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

IF x is A THEN y is B

dengan x dan y adalah 14endid, dan A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai **anteseden**, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai **konsekuen**. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy, seperti:

IF $(x_1 \text{ is } A_1) \bullet (x_2 \text{ is } A_2) \bullet (x_3 \text{ is } A_3) \bullet \dots \bullet (x_n \text{ is } A_n)$ THEN y is B

dengan $\bullet$ adalah operator (misal: OR atau AND) (Rindengan dan Langi, 2016).

3. Komposisi Aturan

Setelah diperoleh hasil dari fungsi implikasi, Langkah selanjutnya adalah menentukan komposisi tiap-tiap aturan dan metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu Metode MAX (maximum) dengan makna lain yaitu prosedur menggabungkan fungsi keanggotaan dari aturan aplikasi fungsi implikasi (Lahsasna, 2010).

4. Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan satu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output (Muntahanah dkk., 2021). Defuzzifikasi dilakukan menggunakan *centroid method*, yang dikenal lebih akurat dibandingkan dengan metode lainnya dengan tingkat akurasi mencapai 90% (Suhada dan Riana, 2016). Metode ini memperhatikan kondisi setiap daerah *fuzzynya*, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat (Salman dan Seno, 2012). Metode *centroid* merupakan suatu metode dimana semua daerah *fuzzy* dari hasil komposisi aturan digabungkan dengan tujuan untuk membentuk hasil yang optimal dan mengambil titik pusat daerah *fuzzy* (Febriany dkk., 2017).

Dalam penelitian Kurniawan (2020) yang berjudul Implementasi Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis dan Monitoring Berbasis *Internet of Things* Menggunakan *Fuzzy Logic Control*, digunakan metode *fuzzy logic* yaitu sebagai berikut.

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

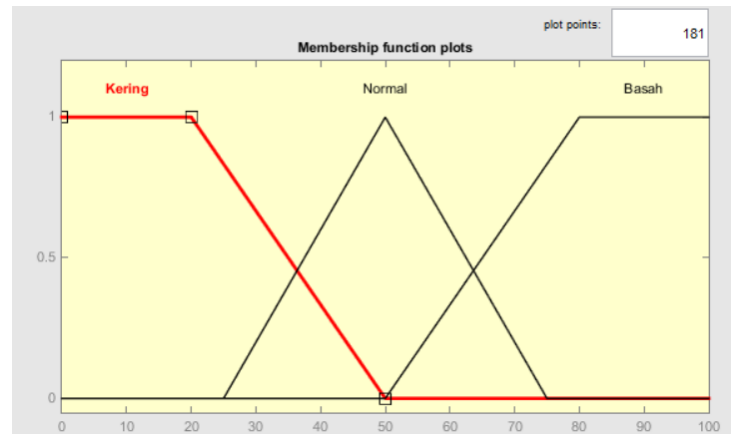
a. Himpunan Keanggotaan Kelembapan Tanah

Himpunan keanggotaan kelembapan tanah memiliki 3 variabel linguistik, yaitu kering, normal, dan basah. Himpunan keanggotaan kelembapan tanah tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Himpunan Keanggotaan Kelembapan Tanah

Kelembapan Tanah (%)	Variabel Linguistik
0 – 20	Kering
25 – 70	Normal
80 – 100	Basah

Berdasarkan **Tabel 2.1**, grafik yang menunjukkan hubungan dari ketiga variabel linguistik yang dibuat pada aplikasi matlab dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.

**Gambar 2.5** Grafik Himpunan Keanggotaan Kelembapan Tanah (Kurniawan, 2020).

Fungsi keanggotaan dari masing-masing himpunan keanggotaan kelembapan tanah dapat dinyatakan dalam **Persamaan (2.1)**, **Persamaan (2.2)**, dan **Persamaan (2.3)**.

$$\mu_K [x] = \begin{cases} 0, x < 0 \text{ atau } > 50 \\ \frac{50-x}{50-20}; 20 \leq x \leq 50 \\ 1, 0 \leq x \leq 20 \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0, x < 25 \text{ atau } x > 75 \\ \frac{x-25}{50-25}; 25 \leq x \leq 50 \\ \frac{75-x}{75-50}, 50 \leq x \leq 75 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\mu_B [x] = \begin{cases} 0, x < 50 \text{ atau } x > 100 \\ \frac{x-50}{80-50}; 50 \leq x \leq 80 \\ 1, 80 \leq x \leq 100 \end{cases} \quad (2.3)$$

Keterangan:

μ_K = Fungsi keanggotaan kelembapan tanah kering.

μ_N = Fungsi keanggotaan kelembapan tanah normal.

μ_B = Fungsi keanggotaan kelembapan tanah basah.

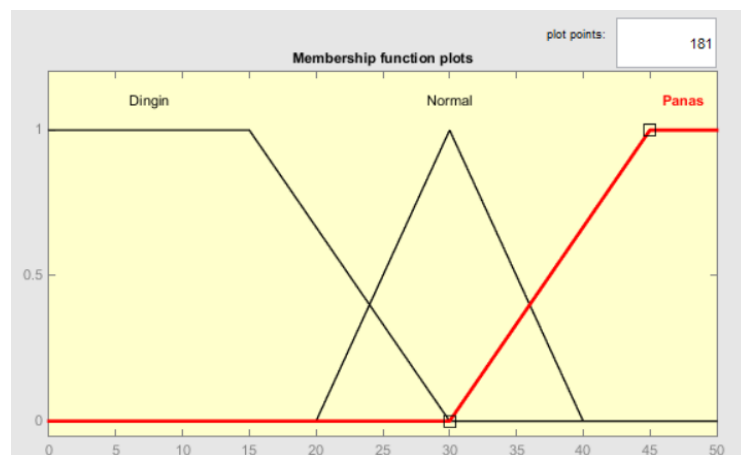
b. Himpunan Keanggotaan Suhu

Himpunan keanggotaan suhu memiliki 3 variabel linguistik, yaitu dingin, normal, dan panas. Himpunan keanggotaan suhu tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Himpunan Keanggotaan Suhu

Suhu °C	Variabel Linguistik
0 – 15	Dingin
20 – 40	Normal
45 – 50	Panas

Berdasarkan **Tabel 2.2**, grafik yang menunjukkan hubungan dari ketiga variabel linguistik yang dibuat pada aplikasi matlab dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Grafik Himpunan Keanggotaan Suhu (Kurniawan, 2020)

Fungsi keanggotaan dari masing-masing himpunan keanggotaan suhu dapat dinyatakan dalam **Persamaan (2.4)**, **Persamaan (2.5)**, dan **Persamaan (2.6)**.

$$\mu_D [x] = \begin{cases} 0, x < 0 \text{ atau } x > 30 \\ \frac{30 - x}{30 - 15}; 15 \leq x \leq 25 \\ 1,0 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0, x < 20 \text{ atau } x > 40 \\ \frac{x - 20}{30 - 20}; 20 \leq x \leq 30 \\ \frac{40 - x}{40 - 30}, 30 \leq x \leq 40 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\mu_P [x] = \begin{cases} 0, x < 30 \text{ atau } x > 50 \\ \frac{x - 30}{45 - 30}; 30 \leq x \leq 45 \\ 1, 45 \leq x \leq 50 \end{cases} \quad (2.6)$$

Keterangan:

μ_D = Fungsi keanggotaan suhu dingin.

μ_N = Fungsi keanggotaan suhu normal.

μ_P = Fungsi keanggotaan suhu panas.

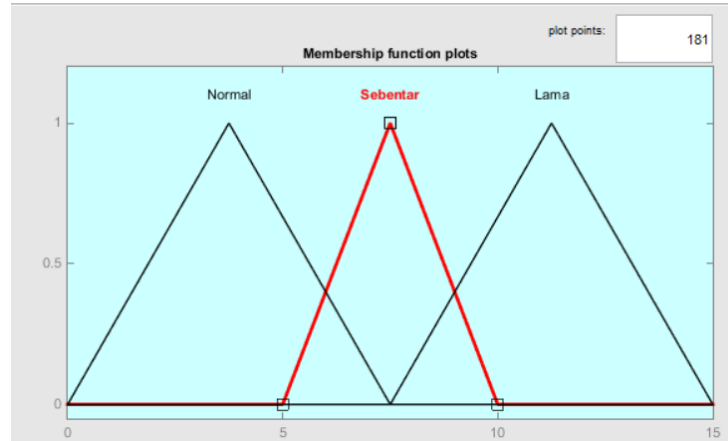
c. Himpunan Keanggotaan *Timer*

Himpunan keanggotaan *timer* memiliki 3 variabel linguistik, yaitu sebentar, normal, dan lama. Himpunan keanggotaan suhu tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Himpunan Keanggotaan Timer

<i>Timer</i> (s)	Variabel Linguistik
0 – 7,5	Sebentar
5 – 10	Normal
7,5 – 15	Lama

Berdasarkan **Tabel 2.3**, grafik yang menunjukkan hubungan dari ketiga variabel linguistik yang dibuat pada aplikasi matlab dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Grafik Himpunan Timer (Kurniawan, 2020)

Fungsi keanggotaan dari masing-masing himpunan keanggotaan suhu dapat dinyatakan dalam **Persamaan (2.7)**, **Persamaan (2.8)**, dan **Persamaan (2.9)**.

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0, x < 0 \text{ atau } x > 7.5 \\ \frac{x - 0}{3.75 - 0}; 0 \leq x \leq 3.75 \\ \frac{7.5 - x}{7.5 - 5}, 3.75 \leq x \leq 7.5 \end{cases} \quad (2.7)$$

$$\mu_S [x] = \begin{cases} 0, x < 5 \text{ atau } x > 10 \\ \frac{x - 5}{7.5 - 5}; 5 \leq x \leq 7.5 \\ \frac{10 - x}{10 - 7.5}, 7.5 \leq x \leq 10 \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\mu_L [x] = \begin{cases} 0, x < 7.5 \text{ atau } x > 15 \\ \frac{x - 7.5}{11.25 - 7.5}; 7.5 \leq x \leq 11.25 \\ \frac{15 - x}{15 - 11.25}, 11.25 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (2.9)$$

Keterangan:

μ_N = Fungsi keanggotaan *timer* normal.

μ_S = Fungsi keanggotaan *timer* sebentar.

μ_L = Fungsi keanggotaan *timer* lama.

2. Inferensi

Pada tahap ini pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan logika-logika yang telah dibuat sehingga menghasilkan suatu *output* keputusan berupa suatu tindakan

pengendalian. Aturan *fuzzy* untuk *input* kelembapan tanah dan *input* sensor suhu ada 9 nilai linguistik yang dibuat dengan fungsi sebagai berikut:

- (R1) **Jika** kelembapan kering **dan** suhu dingin **maka** *timer* lama
- (R2) **Jika** kelembapan kering **dan** suhu normal **maka** *timer* lama
- (R3) **Jika** kelembapan kering **dan** suhu panas **maka** *timer* lama
- (R4) **Jika** kelembapan normal **dan** suhu dingin **maka** *timer* sebentar
- (R5) **Jika** kelembapan normal **dan** suhu normal **maka** *timer* normal
- (R6) **Jika** kelembapan normal **dan** suhu panas **maka** *timer* normal
- (R7) **Jika** kelembapan basah **dan** suhu dingin **maka** *timer* sebentar
- (R8) **Jika** kelembapan basah **dan** suhu normal **maka** *timer* sebentar
- (R9) **Jika** kelembapan basah **dan** suhu panas **maka** *timer* sebentar

Contoh perhitungan menggunakan nilai suhu 26,61°C dan nilai kelembapan tanah sebesar 37,88%.

Rule 1 jika kelembapan kering dan suhu dingin maka timer lama

$$\begin{aligned}
 R1 &= \mu_{\text{suhu}} \cap \mu_{\text{kelembapan}} \\
 &= \text{MIN}(\mu_{\text{dingin}}[26.61], \mu_{\text{kering}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN} (0.226, 0.404) \\
 &= 0.226
 \end{aligned}$$

Rule 2 jika kelembapan kering dan suhu normal maka timer lama

$$\begin{aligned}
 R2 &= \mu_{\text{suhu}} \cap \mu_{\text{kelembapan}} \\
 &= \text{MIN} (\mu_{\text{normal}}[26.61], \mu_{\text{kering}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN} (0.660, 0.404) \\
 &= 0.404
 \end{aligned}$$

Rule 4 jika kelembapan normal dan suhu dingin maka timer sebentar

$$\begin{aligned}
 R4 &= \mu_{\text{suhu}} \cap \mu_{\text{kelembapan}} \\
 &= \text{MIN} (\mu_{\text{dingin}}[26.61], \mu_{\text{normal}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN} (0.226, 0.515) \\
 &= 0.226
 \end{aligned}$$

Rule 5 jika kelembapan normal dan suhu normal maka timer normal

$$\begin{aligned}
 R5 &= \mu_{\text{suhu}} \cap \mu_{\text{kelembapan}} \\
 &= \text{MIN} (\mu_{\text{normal}}[26.61], \mu_{\text{normal}}[37.88]) \\
 &= \text{MIN} (0.660, 0.515) \\
 &= 0.515
 \end{aligned}$$

3. Defuzzifikasi

Perhitungan *Center of Area* (CoA) pada fungsi keanggotaan sebentar yaitu dilakukan operasi pencarian luas segitiga dengan mengalikan alas dengan tingi lalu dibagi dua. Nilai tengah didapatkan dari perhitungan luas ditambah dengan range minimum pada fungsi membership sebentar.

$$P = 7.5 - 0 = 7.5$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 0 + 3.75 = 3.75$$

Perhitungan CoA pada fungsi keanggotaan normal yaitu dilakukan operasi pencarian luas segitiga dengan mengalikan alas dengan tingi lalu dibagi dua. Nilai tengah didapatkan dari perhitungan luas ditambah dengan range minimum pada fungsi keanggotaan normal.

$$P = 10 - 5 = 5$$

$$L = \frac{5 \times 1}{2} = 2.5$$

$$\text{CoA} = 5 + 2.5 = 7.5$$

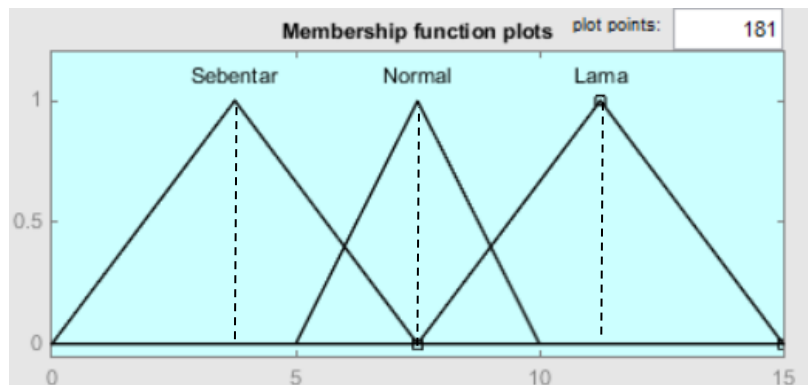
Perhitungan CoA pada fungsi keanggotaan lama yaitu dilakukan operasi pencarian luas segitiga dengan mengalikan alas dengan tingi lalu dibagi dua. Nilai tengah didapatkan dari perhitungan luas ditambah dengan range minimum pada fungsi keanggotaan lama.

$$P = 15 - 7.5 = 7.5$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 7.5 + 3.75 = 11.25$$

Untuk melihat *Center of Area* dari fungsi keanggotaan *timer* dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Nilai Tengah dari Fungsi Keanggotaan *Timer*

Hasil nilai *Center of Area* (CoA) dan nilai luas dari fungsi keanggotaan *timer* dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Nilai Luas dan Titik Tengah

Keanggotaan	Luas (L)	<i>Center of Area</i> (CoA)
Sebentar	3,75	3,75
Normal	2,5	7,5
Lama	3,75	11,25

Kemudian untuk menghitung defuzzifikasi digunakan metode *centroid* pada **Persamaan (2.10)**.

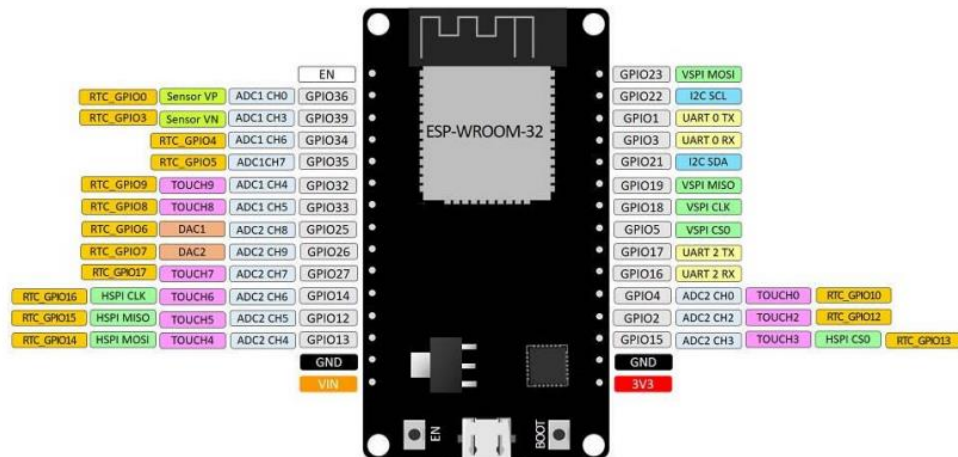
$$\begin{aligned}
 \text{Defuzzifikasi} &= \frac{\sum_{i=1}^n \text{aturan}(i) \times \text{CoA}(i) \times L(i)}{\sum_{i=1}^n \text{aturan}(i) \times L(i)} \quad (2.10) \\
 &= \frac{0.226 \times 11.25 \times 3.75 + 0.226 \times 11.25 \times 3.75 + 0.403 \times 3.75 \times 3.75}{0.226 \times 3.75 + 0.226 \times 3.75 + 0.403 \times 3.75 + 0.515 \times 2.5} \\
 &= \frac{34.410}{4.498} = 7.65 \text{ (lama)}
 \end{aligned}$$

Nilai 7.65 yang diperoleh dari proses defuzzifikasi termasuk ke dalam fungsi keanggotaan *timer* lama dalam sistem *fuzzy inference* yang digunakan. Hasil ini menunjukkan bahwa berdasarkan aturan fuzzy yang diterapkan, sistem menentukan bahwa pompa harus menyala selama 7.65 detik untuk menyirami tanaman. Nilai ini

dihitung menggunakan metode CoA. Setelah nilai ini diperoleh, mikrokontroler akan mengaktifkan relay pompa selama 7.65 detik sebelum mematikannya, sehingga tanaman mendapatkan jumlah air yang sesuai dengan kondisi lingkungan yang diukur oleh sensor.

2.2.4 *Espressif Systems Processor 32-bit (ESP32)*

Mikrokontroler ESP32 merupakan mikrokontroler *System on Chip* (SoC) terpadu dengan dilengkapi Wi-Fi 802.11 b/g/n, versi 4.2, dan berbagai *peripheral*. ESP32 adalah chip yang cukup lengkap, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada *General Purpose Input Output* (GPIO). ESP32 bisa digunakan untuk rangkaian pengganti pada Arduino, ESP32 memiliki kemampuan untuk mendukung terkoneksi ke Wi-Fi secara langsung. Adapun spesifikasi dari ESP32 yaitu seperti *board* ini memiliki dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama tetapi versi yang 30 GPIO dipilih karena memiliki dua pin GND. Semua pin diberi label dibagian atas *board* sehingga mudah untuk dikenali. *Board* ini memiliki *interface Universal Serial Bus* (USB) to *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) yang mudah dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE. Sumber daya *board* bisa diberikan melalui konektor microUSB (Nizam dkk., 2022). Tidak hanya memiliki dukungan konektifitas Wi-Fi, namun juga *Bluetooth Low Energy* yang membuat ESP32 menjadi lebih serbaguna. CPU yang dimiliki ESP32 hampir mirip dengan yang dimiliki ESP8266 yaitu Xtensa LX6 dengan arsitektur 32-bit, namun kelebihanannya pada ESP32 memiliki inti ganda. Tidak hanya itu, ESP32 memiliki ROM 128KB dan SRAM 416K, juga *flash memory* (untuk menyimpan program dan data) sebesar 64MB (Prafanto dkk., 2021). ESP32 mempunyai 30 GPIO yang memiliki susunan pin yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.9 Susunan Pin ESP32 30 GPIO (Wagya dan Rahmat, 2019)

Berikut spesifikasi yang dimiliki oleh NodeMCU ESP32 yang dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Spesifikasi NodeMCU ESP32

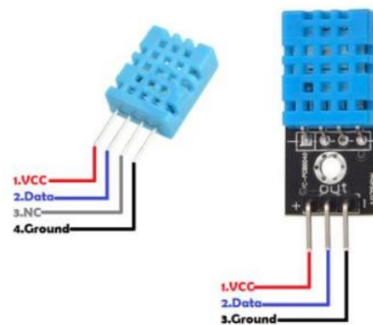
Spesifikasi	Keterangan
<i>Central Processing Unit (CPU)</i>	Tensilica Xtensa LX6 32 bit dual-core at 160/240 MHz
<i>Static Random-Access Memory (SRAM)</i>	520 KB
FLASH	2 MB (max. 64 MB)
Tegangan	2.2V sampai 3.6V
Arus kerja	Rata-rata 80mA
Dapat diprogram	Ya (C, C++, Python, Lua, d
<i>Open source</i>	Ya
<i>Wireless Fidelity (Wi-Fi)</i>	802.11 b/g/n
Bluetooth	4.2BR/EDR + BLE
UART	3
GPIO	32
<i>Serial Peripheral Interface (SPI)</i>	4
<i>Inter-Integrated Circuit (I2C)</i>	2
<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	8
<i>Analog-to-Digital Converter (ADC)</i>	18 (12-bit)
<i>Digital-to-Analog Converter (DAC)</i>	2 (8-bit)

Mikrokontroler ini dapat digunakan pada daya yang rendah dan menggunakan *low-duty cycle* yang dapat meminimalkan energi yang dikeluarkan oleh *chip*. ESP32 adalah mikrokontroler yang terintegrasi sehingga dapat digunakan pada Wi-Fi dan

Bluetooth IoT disertai oleh 20 komponen eksternal (Asmazori dan Firmawati, 2021).

2.2.5 Sensor Suhu DHT11

DHT11 adalah sensor suhu dan kelembapan tipe delapan-bit-restoratif dalam satu paket kecil. Nilai delapan bit mengacu pada restitusi suhu. Sensor DHT11 mudah ditemukan dan sangat murah serta sensitivitasnya juga sangat bagus. Kisaran suhu adalah 0 hingga 50°C dan kelembapannya adalah 20% kelembapan hingga 90% kelembapan relative (Horan, 2013). Sensor DHT11 pada umumnya memiliki fitur kalibrasi nilai pembacaan suhu dan kelembapan yang cukup akurat. Penyimpanan data kalibrasi tersebut terdapat pada memori program *One-Time Password* (OTP) yang disebut juga dengan nama koefisien kalibrasi.



Gambar 2.10 Sensor Suhu DHT11 (Rangan dkk., 2020)

Sensor DHT11 memiliki 2 versi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11**, yaitu versi 4 pin dan versi 3 pin. Tidak ada perbedaan karakteristik dari 2 versi ini. Pada versi 4 pin. Pin 1 adalah tegangan sumber, berkisar antara 3V sampai 5V. Pin 2 adalah data keluaran (*output*). Pin ke 3 adalah pin NC (*Normal Close*) alias tidak digunakan dan pin ke 4 adalah *Ground*. Sedangkan pada versi 3 kaki, pin 1 adalah VCC antara 3V sampai 5V, pin 2 adalah data keluaran dan pin 3 adalah *Ground* (Rangan *et al.*, 2020).

Berbagai pin sensor DHT11 adalah sebagai berikut:

- VCC: VCC adalah singkatan dari tegangan. Pin VCC digunakan untuk terhubung dengan pin VCC mikrokontroler.

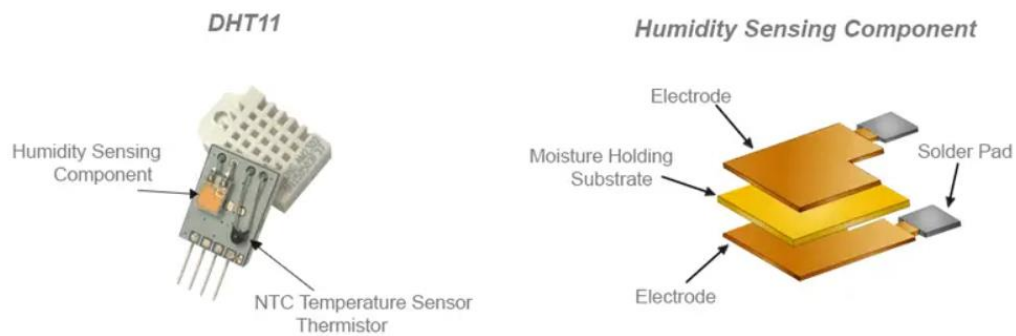
- DATA: Pin data yang digunakan untuk membaca nilai sensor dan meneruskan data ke mikrokontroler dan mikrokontroler menampilkan data pada LCD atau pada *serial monitor*.
- GND: GND adalah singkatan dari ground. Pin GND digunakan untuk menghubungkan dengan pin GND mikrokontroler (Singh *et al.*, 2020).

Ukuran sensor DHT11 tergolong kecil dan menggunakan antarmuka jenis serial satu kabel sehingga cepat dan mudah dikoneksikan. Transmisi sinyal data sensornya dapat mencapai jarak hingga 20 meter. Spesifikasi lengkap DHT11 dapat dilihat pada **Tabel 2.6**.

Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor DHT11

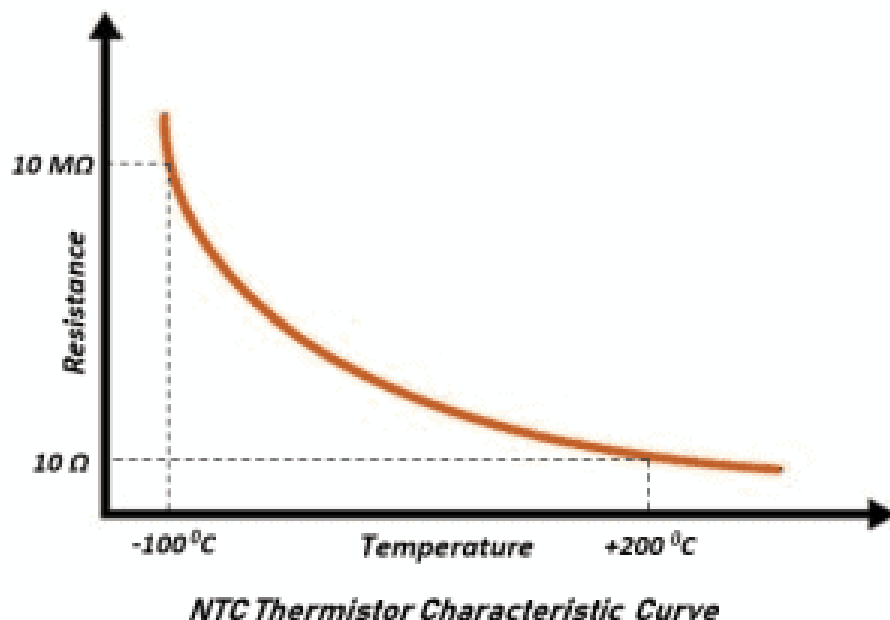
Spesifikasi	Keterangan
Jangkauan ukur	20-90% RH, 0-50°C
Ketelitian ukur kelembapan	± 5% RH
Ketelitian ukur suhu	± 2°C
Resolusi	1% RH, 0,1°C
Power supply	5V
Konsumsi arus	0,5mA – 2,5mA
Waktu sampling	1 detik

Cara DHT11 mengukur kelembapan udara adalah dengan mendeteksi uap air dengan mengukur resistansi listrik antara dua elektroda. Komponen pendeteksi kelembapan udara yang digunakan adalah berupa substrat penahan kelembapan udara yang dilengkapi dengan elektroda. Ketika uap air diserap oleh substrat, ion-ion dilepaskan oleh substrat yang akan menyebabkan peningkatan terhadap konduktivitas antar elektroda. Peningkatan konduktivitas ini menyebabkan resistansi berkurang dan menandakan bahwa kelembapan udara tinggi. Sebaliknya, ketika kelembapan udara lebih kering, maka jumlah uap air yang terserap oleh substrat akan berkurang dan mengakibatkan penurunan konduktivitas serta peningkatan resistansi (Nasir, 2019). Berikut **Gambar 2.11** yang menunjukkan komponen sensor kelembapan udara pada DHT11.



Gambar 2.11 Komponen Pendeteksi Kelembapan (Magdy, 2025)

Untuk mengukur suhu, sensor DHT11 menggunakan termistor *Negative Temperature Coefficient* (NTC), yang berarti bahwa nilai resistansi akan berkurang jika suhu meningkat (Al-Khairi, 2021). Sensor ini dibuat dengan menggunakan bahan semikonduktif, seperti keramik atau polimer untuk mengubah besar resistor dengan perubahan suhu yang kecil. Saat suhu berubah, terjadi perubahan nilai resistansi yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan (Nasir, 2019), seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



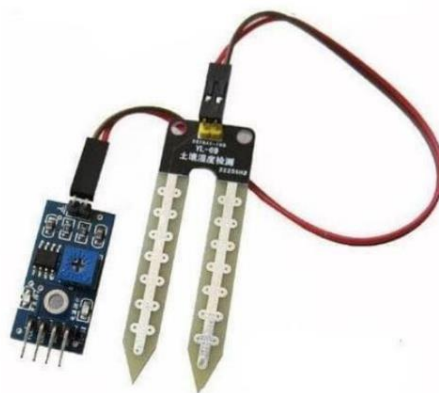
Gambar 2.12 Karakteristik Termistor NTC (Kalaburgi, 2021)

2.2.6 Soil Moisture Sensor YL-69

Soil moisture sensor YL-69 adalah sensor kelembapan yang dapat mendeteksi kelembapan dalam tanah. Sensor ini sangat sederhana, tetapi ideal untuk memantau taman kota, atau tingkat air pada tanaman pekarangan. Sensor ini terdiri dua *probe* untuk melewati arus melalui tanah, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kelembapan. Semakin banyak air membuat tanah lebih mudah menghantarkan listrik (resistansi kecil), sedangkan tanah yang kering sangat sulit menghantarkan listrik (resistansi besar). Sensor ini sangat membantu untuk mengingatkan tingkat kelembapan pada tanaman atau memantau kelembapan tanah (Haidar, 2023). Sensor kelembapan tanah YL-69 terdiri dari dua elektroda yang prinsip kerjanya berbasis resistansi. Sensor ini membaca kelembapan tanah di sekitar elektrodanya. Arus listrik yang mengalir di kedua elektroda melalui tanah dan resistansi pada tanah akan menentukan nilai kelembapan tanah. Apabila kadar air dalam tanah atau kelembapan tanah tinggi, ion di dalam air akan mempermudah arus listrik mengalir melalui tanah sehingga resistansi kecil dan apabila kadar air dalam tanah atau kelembapan tanahnya rendah maka resistansi akan besar (Andariesta dkk., 2015). Hubungan resistansi dengan arus dinyatakan dalam Hukum Ohm dalam **Persamaan (2.11)**.

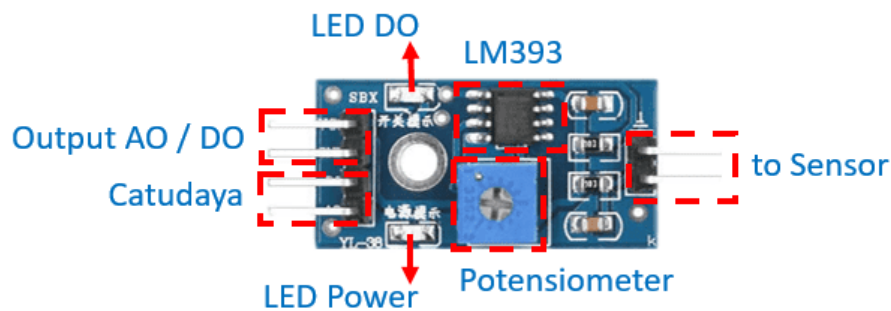
$$V = I \times R \quad (2.11)$$

Dengan V adalah tegangan, I adalah arus dan R adalah resistansi (Tim Smart Genesis, 2018). Bentuk sensor kelembapan tanah YL-69 dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.13 Soil Moisture YL-69 (Daniel dkk., 2022)

Dalam satu set sensor *soil moisture* tipe YL- 69 terdapat sebuah modul yang didalamnya terdapat IC LM393. Sensitivitas pendeteksian dapat diatur dengan memutar potensiometer yang terpasang di modul pemroses. Komponen modul sensor YL-69 ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Modul Sensor YL-69 (Algorista, 2020)

Untuk pendeteksian secara presisi menggunakan mikrokontrol atau dapat menggunakan keluaran analog (sambungan dengan pin ADC atau analog input pada mikrokontroler) yang akan memberikan nilai kelembapan pada skala 0V (terhadap GND) hingga VCC (tegangan catu daya). *Soil moisture* sensor YL-69 memiliki spesifikasi tegangan input sebesar 3.3V atau 5V, tegangan *output* sebesar 0 – 4.2V, arus sebesar 35 mA, dan memiliki *value range* ADC sebesar 1024 mulai dari 0 – 1023 bit. Sensor kelembapan tanah mengukur kadar air dalam tanah, yang mana kadar air tanah dapat ditentukan melalui pengaruhnya terhadap konstanta dielektrik dengan mengukur dua elektroda yang ditanamkan di tanah. Dimana kelembapan tanah besar dalam bentuk air bebas misalkan Di tanah yang berpasir, berbanding lurus dengan kadar air. Probe biasanya diberi eksitasi frekuensi untuk memungkinkan pengukuran konstanta dielektrik. Pembacaan dari probe tidak linier dengan kadar air dan dipengaruhi oleh jenis tanah dan suhu tanah (Mardika dan Kartadie, 2019). Untuk mengetahui nilai kelembapan tanah, maka nilai ADC dari sensor dikonversi dalam satuan peresentase kelembapan. Semakin tinggi nilai ADC yang dihasilkan maka semakin rendah nilai kelembapan dalam persen (%) (Thirafi, 2023).

Sensor kelembapan tanah YL-69 adalah alat yang dapat melakukan pengukuran tingkat kelembapan tanah dengan cara yang sederhana. Hanya perlu memasukkan

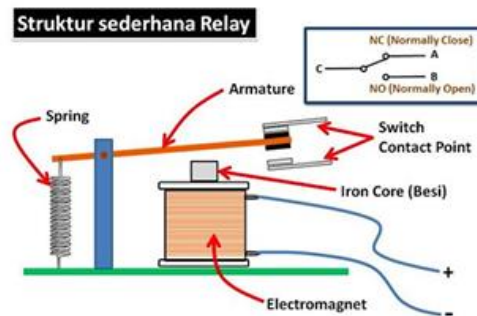
probe sensor ke dalam tanah, dan sensor ini akan segera memberikan data mengenai tingkat kelembapan tanah. Informasi mengenai kelembapan tanah dapat diperoleh melalui nilai yang ditampilkan oleh sensor tersebut. Sensor ini menggunakan dua buah probe untuk melewati arus melalui tanah lalu membaca tingkat resistansinya untuk mendapatkan tingkat kelembapan tanah. Makin banyak air membuat tanah makin mudah mengalirkan arus listrik (resistansi rendah), sementara tanah kering sulit mengalirkan arus listrik (resistansi tinggi). Ada tiga buah pin yang terdapat pada sensor ini yang mana masing masing pin memiliki tugas sendiri sendiri, yaitu: *analog output*, *ground*, dan *power*. Sensor *soil moisture* adalah sensor kelembapan tanah yang bekerja dengan prinsip membaca jumlah kadar air dalam tanah di sekitarnya. Sensor ini merupakan sensor ideal untuk memantau kadar air tanah untuk tanaman. Sensor ini menggunakan dua konduktor untuk melewati arus melalui tanah, kemudian membaca nilai resistansi untuk mendapatkan tingkat kelembapan. Lebih banyak air dalam tanah akan membuat tanah lebih mudah menghantarkan listrik (nilai resistansi lebih besar), sedangkan tanah kering akan mempersulit untuk menghantarkan listrik (nilai resistansi kurang). Sensor *soil moisture* dalam penerapannya membutuhkan daya sebesar 3.3 v atau 5 V dengan keluaran tegangan sebesar 0 – 4.2 V. Sensor ini mampu membaca kadar air yang memiliki 3 kondisi yaitu :

- 0-300: tanah kering.
- 300-700: tanah lembab.
- 700-950: tanah basah (Yaakub dan Meilano, 2019).

2.2.7 Relay

Relay adalah saklar mekanik yang dikendalikan atau dikontrol secara elektronik. Saklar pada relay akan terjadi perubahan posisi *off* ke *on* pada saat diberikan energi elektromagnetik pada relay tersebut. Relay pada dasarnya terdiri dari dua bagian utama yaitu saklar mekanik dan sistem pembangkit elektromagnetik (inti besi).

Sakelar atau kontaktor relay dikendalikan menggunakan tegangan listrik yang diberikan ke pembangkit magnet untuk menarik tuas sakelar atau kontaktor relay. Relay terdiri dari kumparan (*coil*) dan kontak (*contact*). Kumparan adalah gulungan kawat yang mendapat arus listrik, sedang kontak adalah sejenis sakelar yang pergerakannya tergantung dari ada tidaknya arus listrik pada kumparan. Kontak ada 2 jenis: *Normally Open* (kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *OPEN* (terbuka), dan *Normally Closed* (kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *CLOSE* (tertutup). Secara sederhana prinsip kerja dari relay ialah kumparan mendapat energi listrik akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik yang berpegas, dan kontak akan menutup. Tampilan rangkaian dasar relay dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Relay (Saleh dan Haryanti, 2017)

Relay memiliki struktur sebagai berikut:

- *Armature*, merupakan tuas logam yang bisa naik turun. Tuas akan turun jika tertarik oleh magnet feromagnetik (elektromagnetik) dan akan kembali naik jika sifat kemagnetan feromagnetik sudah hilang.
- *Spring*, pegas berfungsi sebagai penarik tuas. Ketika sifat kemagnetan feromagnetik hilang, maka spring berfungsi untuk menarik tuas ke atas.
- *Shading Coil*, ini untuk pengaman arus AC dari listrik PLN yang tersambung dari C (Contact).
- *NC Contact*, NC singkatan dari *Normally Close*. Kontak yang secara default terhubung dengan kontak sumber (kontak inti, C) posisi OFF.
- *NO Contact*, NO singkatan dari *Normally Open*. Kontak yang akan terhubung dengan kontak sumber (kontak inti, C) posisi ON.

- Elektromagnet, kabel lilitan yang membelit logam ferromagnetic dan berfungsi sebagai magnet buatan yang sifatnya sementara. Menjadi logam magnet Ketika lilitan dialiri arus listrik, dan menjadi logam biasa ketika arus listrik diputus (Satriadi, et al., 2019)

Relay juga memiliki kegunaan untuk membuka dan menutup dengan menggunakan endidi dari rangkaian elektronik lainnya. Sebuah relay terdiri dari kumparan, pegas, saklar dan 2 kontak elektronik yaitu sebagai berikut.

1. *Normally Close (NC)* adalah saklar terhubung dengan kontak saat ini saat relay tidak aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi terbuka.
2. *Normally Open (NO)* adalah saklar terhubung dengan kontak ini saat relay aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi tertutup (Santoso dan Wijayanto, 2022).

2.2.8 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Penampil (*display*) elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk menampilkan angka, huruf atau simbol-simbol lainnya. LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu display elektronika yang umum digunakan. Jumlah karakter yang dapat ditampilkan tergantung dari spesifikasi yang dimiliki. Tampilan dari LCD ditunjukkan pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2.16 *Liquid Crystal Display (LCD)* (Anggara dkk., 2018)

Cara kerja LCD secara umum adalah port RW diberi logika rendah “0”. Bus data terdiri dari 4-bit atau 8-bit. Jika jalur data 4-bit maka yang digunakan ialah DB4 sampai dengan DB7. Interface LCD merupakan sebuah parallel bus, dimana hal ini

sangat memudahkan dan sangat cepat dalam pembacaan dan penulisan data dari atau ke LCD. Kode ASCII yang ditampilkan sepanjang 8-bit dikirim ke LCD secara 4-bit atau 8 bit pada satu waktu. Jika mode 4-bit yang digunakan, maka 2 nibble data dikirim untuk membuat sepenuhnya 8-bit (pertama dikirim 4-bit MSB lalu 4-bit LSB dengan pulsa clock EN setiap nibblenya). Jalur EN digunakan untuk memberitahu LCD bahwa mikrokontroler mengirimkan data ke LCD. Untuk mengirim data ke LCD program harus menset EN ke kondisi high “1” dan kemudian menset dua jalur lainnya (RS dan R/W) atau juga mengirimkan data ke jalur data bus. Saat jalur lainnya sudah siap, EN harus diset ke “0” dan tunggu beberapa saat (tergantung pada *datasheet* LCD), dan set EN ke high “1”. Ketika jalur RS berada dalam kondisi low “0”, data yang dikirimkan ke LCD dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti bersihkan 33endi, posisi kursor, dan lain-lain). Ketika RS dalam kondisi high atau “1”, data yang dikirimkan adalah data ASCII yang akan ditampilkan di layar. Misal, untuk menampilkan huruf “A” maka RS harus diset ke “1”. Jalur R/W harus berada dalam kondisi low (0) saat informasi pada data bus akan dituliskan ke LCD. Apabila R/W berada dalam kondisi high “1”, maka program akan melakukan query (pembacaan) data dari LCD. Instruksi pembacaan hanya satu, yaitu Get LCD status (membaca status LCD), lainnya merupakan instruksi penulisan. Jadi di setiap aplikasi yang menggunakan LCD, R/W selalu diset ke “0”. Jalur data dapat terdiri 4 atau 8 jalur (tergantung mode yang dipilih pengguna), DB0, DB1, DB2, DB3, DB4, DB5, DB6 dan DB7 (Anggara dkk., 2018).

2.2.9 *Software* Arduino IDE

Arduino diciptakan untuk para pemula bahkan yang tidak memiliki *basic* pemrograman sama sekali karena menggunakan C++ yang telah dipermudah melalui library. Arduino menggunakan *Software Processing* yang digunakan untuk menulis program ke dalam Arduino. Processing sendiri merupakan penggabungan antara C++ dan Java. *Software* Arduino ini dapat diinstall diberbagai *operating system* (OS) seperti: LINUX, MacOS, Windows. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, Tetapi kombinasi dari hardware, pemrograman dan

Integrated Development Environment (IDE) yang canggih. Tampilan dari *software* Arduino IDE bisa dilihat pada **Gambar 2.17**.



Gambar 2.17 *Software* Arduino (Arifin dkk., 2016)

Arduino IDE merupakan salah satu *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam memory microcontroller. *Software* IDE Arduino terdiri dari 3 (tiga) bagian:

- Editor program, untuk menulis dan mengedit program dalam processing. Listing program pada Arduino disebut sketch.
- Compiler*, modul yang berfungsi mengubah *processing* (kode program) kedalam kode biner karena kode biner adalah satu-satunya program yang dipahami oleh mikrokontroler.
- Uploader*, modul yang berfungsi memasukkan kode biner kedalam memori mikrokontroler (Arifin dkk., 2016).

Arduino IDE juga merupakan *software* yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman atau dengan kata lain IDE sebagai media untuk pemrograman pada *board* yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, meng-*upload* ke *board* yang ditentukan, dan mengoding program tertentu. Arduino IDE dibuat dari pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan *library* C/C++ yang membuat operasi *input* atau *output* lebih mudah (Kamal dkk., 2023).

2.2.1 Kelembapan Tanah

Kelembapan permukaan adalah kadar air pada 10 cm teratas dari lapisan tanah, sedangkan kelembapan akar (*root zone soil moisture*) adalah kadar air yang berada pada 200 cm teratas dari permukaan tanah. Tingkat kelembapan dapat dinyatakan dengan kadar air tanah (*soil water content*) dan dapat pula dinyatakan dengan tingkat potensi adanya air di dalam tanah (*soil water potential*) (Degeng dan Prabowo, 2015). Menurut (Stevanus dan Setiadikarunia, 2013) kelembapan tanah diartikan sebagai banyaknya air yang terkandung didalam tanah yang dinyatakan dalam persen. Secara umum untuk mengukur kelembapan, metode yang digunakan adalah *American Standard Method* (ASM). Prinsip dari metode ini adalah dengan cara melakukan perbandingan antara massa air dengan massa butiran tanah (massa tanah dalam kondisi kering), yang ditunjukkan oleh **Persamaan (2.12)** dan **Persamaan (2.13)**.

$$m_a = m_2 - m_1 \quad (2.12)$$

$$k_d = \frac{m_a}{m_1} \times 100\% \quad (2.13)$$

dengan:

m_2 = Massa tanah basah (g);

m_1 = Massa tanah kering (g);

k_d = Kadar air (%);

m_a = Massa air (g);

Massa butiran tanah dapat diperoleh dengan memasukkan sampel tanah ke dalam pemanas seperti oven. Sementara itu, massa air merupakan selisih antara massa butiran tanah yang telah diberi air dengan massa butiran tanah.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2024 sampai dengan November 2024. Pembuatan alat dilakukan di Teluk Betung, Kec. Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung dan pengujian alat dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pembuatan alat pada penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung berjalannya pembuatan alat, yaitu sebagai berikut.

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam pembuatan alat ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu *software* dan *hardware*. *Software* yang diperlukan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Software

No.	Software	Fungsi
1.	Arduino IDE	Untuk membuat program pengendali ESP32.
2.	Fritzing	Sebagai program dalam membuat desain rangkaian.
3.	Matlab	Untuk mensimulasikan dan menganalisis <i>fuzzy logic</i> .

Sedangkan untuk *hardware* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Hardware

No.	Nama	Fungsi
1.	Laptop	Untuk membuat pemrograman pada Arduino IDE dan pembuatan laporan penelitian.
2.	Solder	Untuk menyatukan komponen-komponen alat.
3.	Perlengkapan lainnya (kabel, obeng, dan sebagainya)	Untuk menghubungkan dan memasang komponen-komponen pada rangkaian perangkat.

3.2.2 Bahan

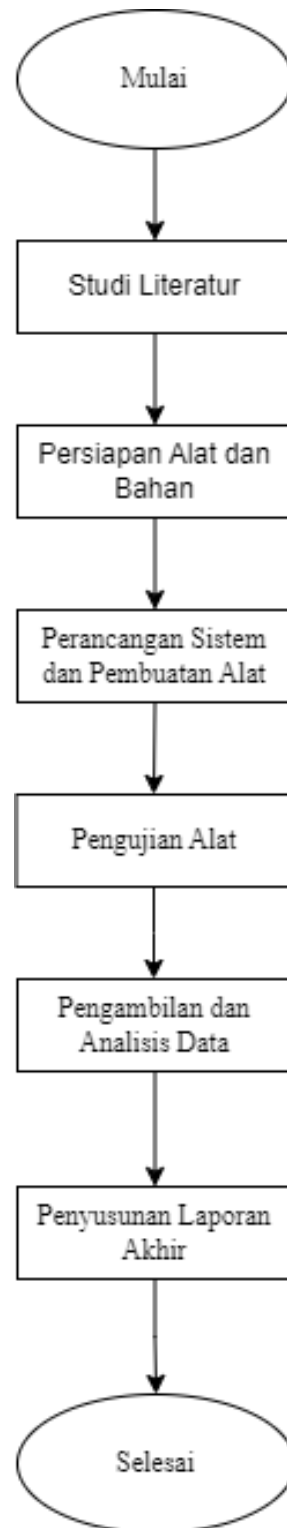
Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Bahan

No.	Bahan	Fungsi
1.	ESP32	Sebagai pengendali alat monitoring pengukuran kelembapan dan suhu.
2.	Sensor YL-69	Sebagai pendeteksi kelembapan tanah.
3.	Relay	Sebagai saklar untuk ON/OFF pada <i>water pump</i> .
4.	Sensor DHT11	Sebagai pendeteksi suhu.
5.	LCD 16 x I2C	Untuk menampilkan data suhu dan kelembapan tanah.
6.	Selang	Sebagai media aliran air.
7.	<i>Water pump</i>	Untuk mendistribusikan air.
8.	<i>Power supply</i>	Untuk menyediakan daya listrik ke seluruh komponen dalam sebuah sistem komputer atau perangkat elektronik

3.3 Prosedur Penelitian

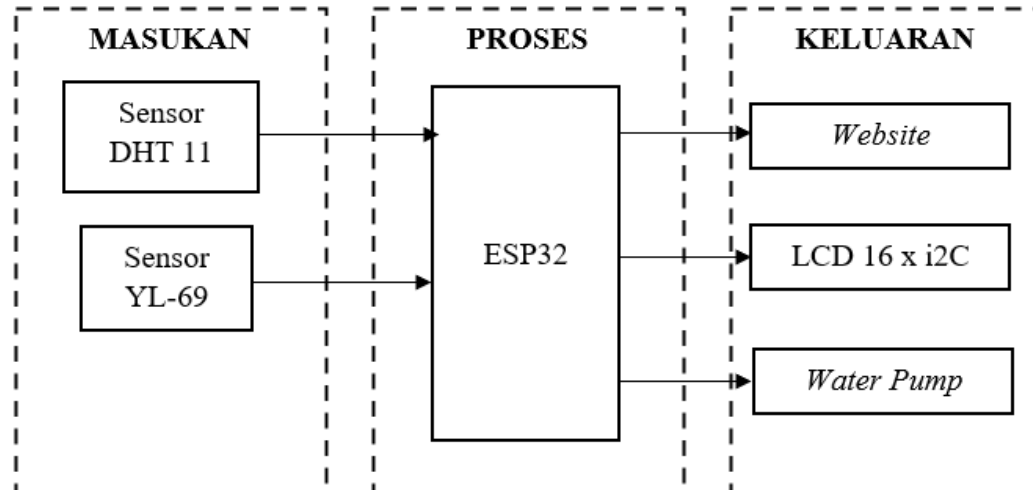
Pembuatan alat ini mempunyai beberapa tahapan yang dilakukan yaitu perancangan alat, pengujian kerja alat, dan pengambilan data pengukuran. Langkah-langkah yang dilakukan pada pembuatan alat ditunjukkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Perancangan Alat

Pada tahap ini dilakukan perancangan alat penyiraman berbasis IoT dengan pengendali ESP32. Diagram blok perancangan alat ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.

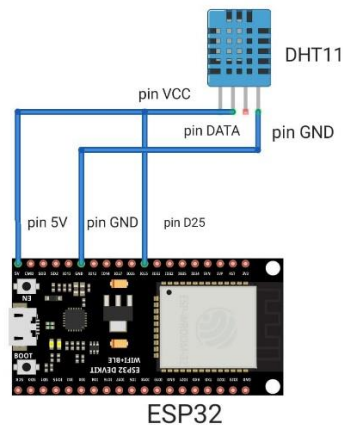


Gambar 3.2 Diagram Blok

Alat ini dibuat untuk memantau dan mengendalikan penyiraman pada tanaman tomat dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32. Alat ini terdiri dari ESP32, sensor YL-69, sensor DHT11, LCD 16xI2C, relay dan pompa air. ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang digunakan sebagai *monitoring* sekaligus kendali. Sensor YL-69 digunakan sebagai deteksi kelembapan tanah pada tanaman tomat dan sensor DHT11 sebagai deteksi suhu pada tanaman tomat ceri. Kemudian, LCD 16xI2C yang berfungsi untuk menampilkan nilai kelembapan dan suhu dan relay yang berfungsi sebagai saklar otomatis pada pompa air. Sistem ini juga terdapat pompa air sebagai alat yang dapat mendistribusikan air. Selanjutnya nilai sensor kelembapan tanah, suhu, dan durasi penyiraman akan ditampilkan pada *website*.

a. Rangkaian Sensor Suhu DHT11

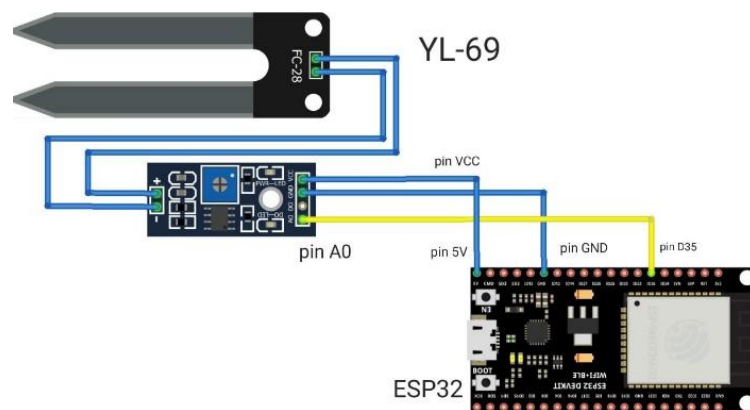
Rangkaian pada penelitian ini salah satunya menggunakan sensor suhu yang terhubung dengan ESP32, yaitu dengan cara menghubungkan pin 5V pada ESP32 dengan pin VCC pada sensor suhu DHT11, pin data DHT11 dengan pin D14 pada ESP32, dan kemudian menghubungkan pin ground DHT11 dengan pin GND pada ESP32. Rangkaian sensor suhu DHT11 bisa dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Rangkaian DHT11

b. Rangkaian Sensor YL-69

Rangkaian pada penelitian ini selanjutnya adalah menggunakan sensor YL-69 yang terhubung dengan ESP32, yaitu dengan cara menghubungkan pin A0 sensor YL-69 dengan pin D35 pada ESP32, pin VCC pada sensor YL-69 terhubung dengan pin 3V3 pada ESP32, dan selanjutnya pin GND pada sensor YL-69 terhubung dengan pin GND pada ESP32. Rangkaian sensor kelembapan YL-69 bisa dilihat pada **Gambar 3.4**.

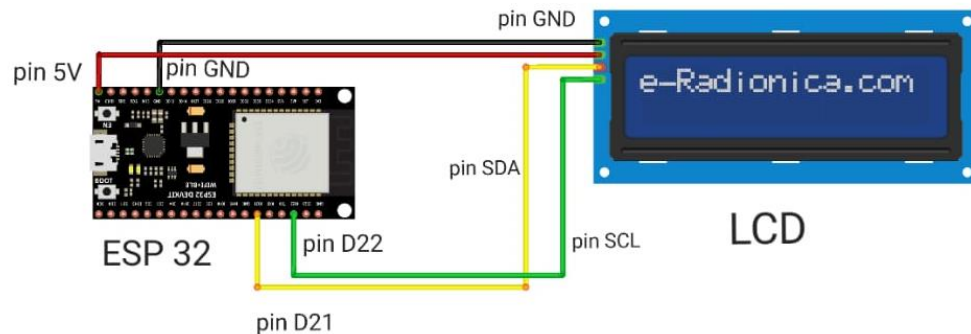


Gambar 3.4 Rangkaian Sensor YL-69

c. Rangkaian *Liquid Crystal Display* (LCD)

Rangkaian LCD terhubung dengan ESP32, yaitu dengan cara menghubungkan pin VCC pada ESP32 dengan pin VCC pada LCD, pin GND pada LCD terhubung dengan pin GND pada ESP32, pin SDA LCD terhubung dengan pin D21 pada

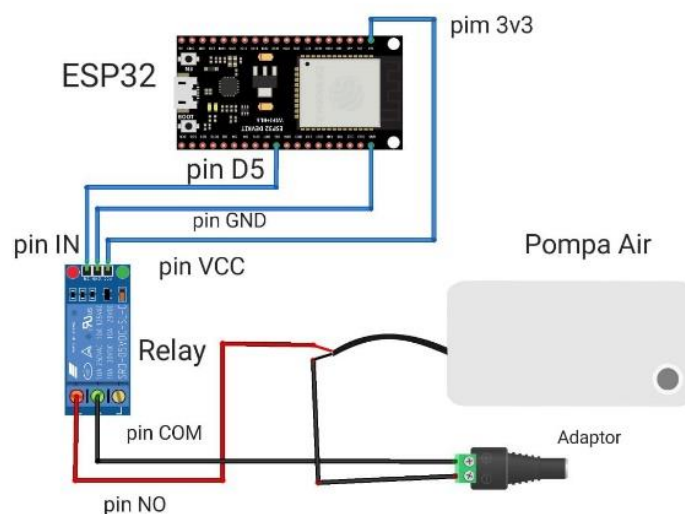
ESP32, dan pin SCL LCD terhubung ke pin D22 pada ESP32. Rangkaian LCD bisa dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Rangkaian LCD

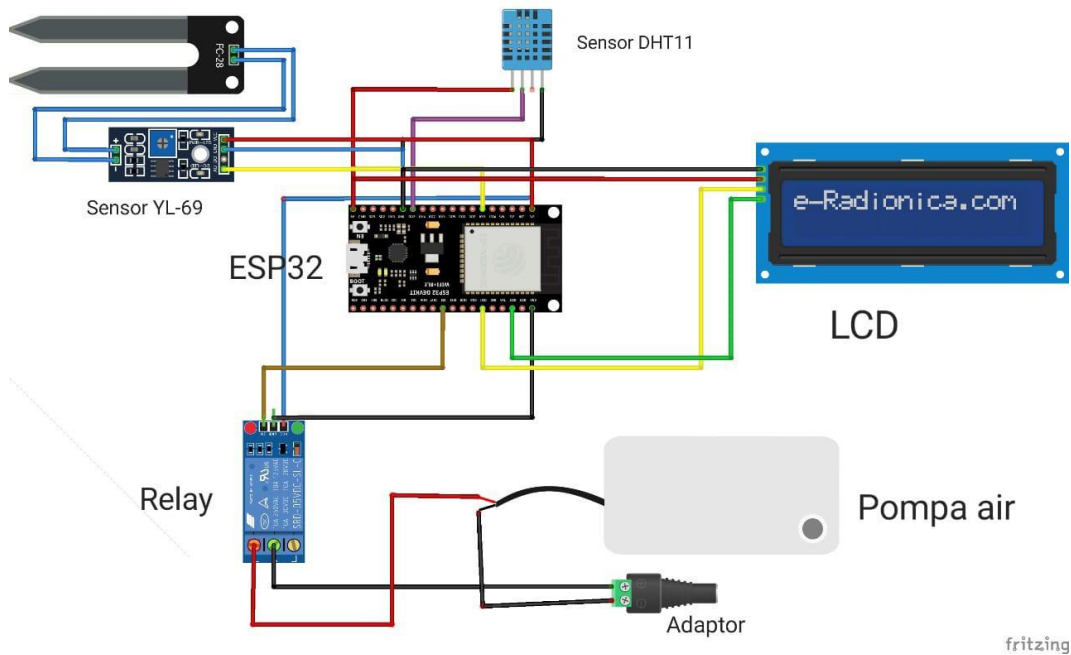
d. Rangkaian Relay dan Pompa Air

Rangkaian ini terdapat relay dan pompa air yang terhubung dengan ESP32. Pada relay, pin VCC terhubung ke pin 5V pada ESP32, pin GND terhubung ke pin GND pada ESP32, dan pin IN terhubung ke pin D5 pada ESP32. Kemudian pada rangkaian relay dan pompa air, kabel merah dari baterai akan terhubung pada COM pada relay. Kabel hitam baterai terhubung dengan kabel hitam pada pompa air. Kemudian kabel merah pompa air akan terhubung dengan NO pada relay. Rangkaian sensor suhu DHT11 bisa dilihat pada **Gambar 3.6**.



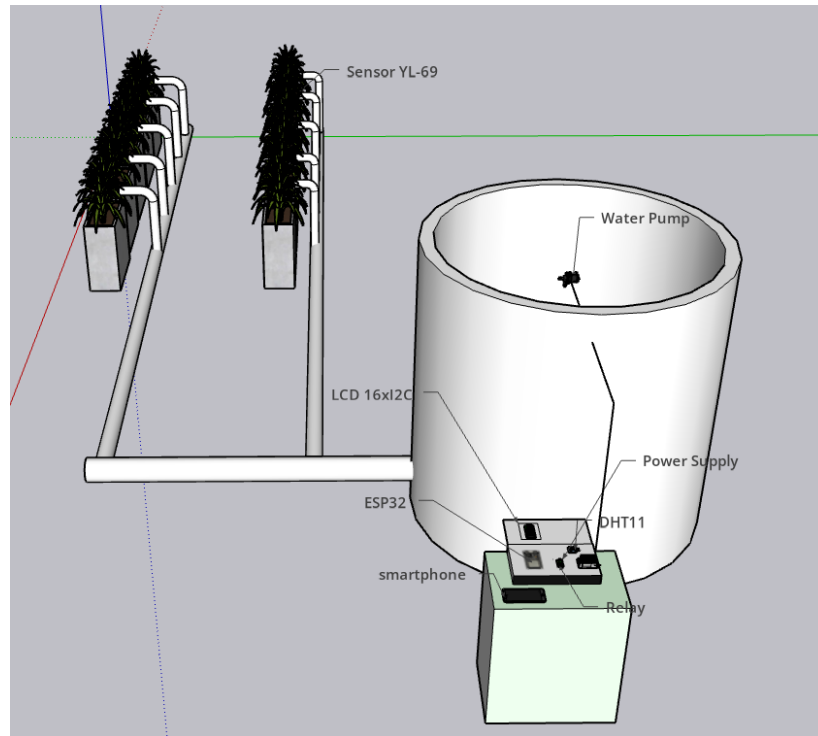
Gambar 3.6 Rangkaian Relay dan Pompa

Adapun skema alat penyiraman otomatis yang ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Skema Alat Penyiraman Otomatis

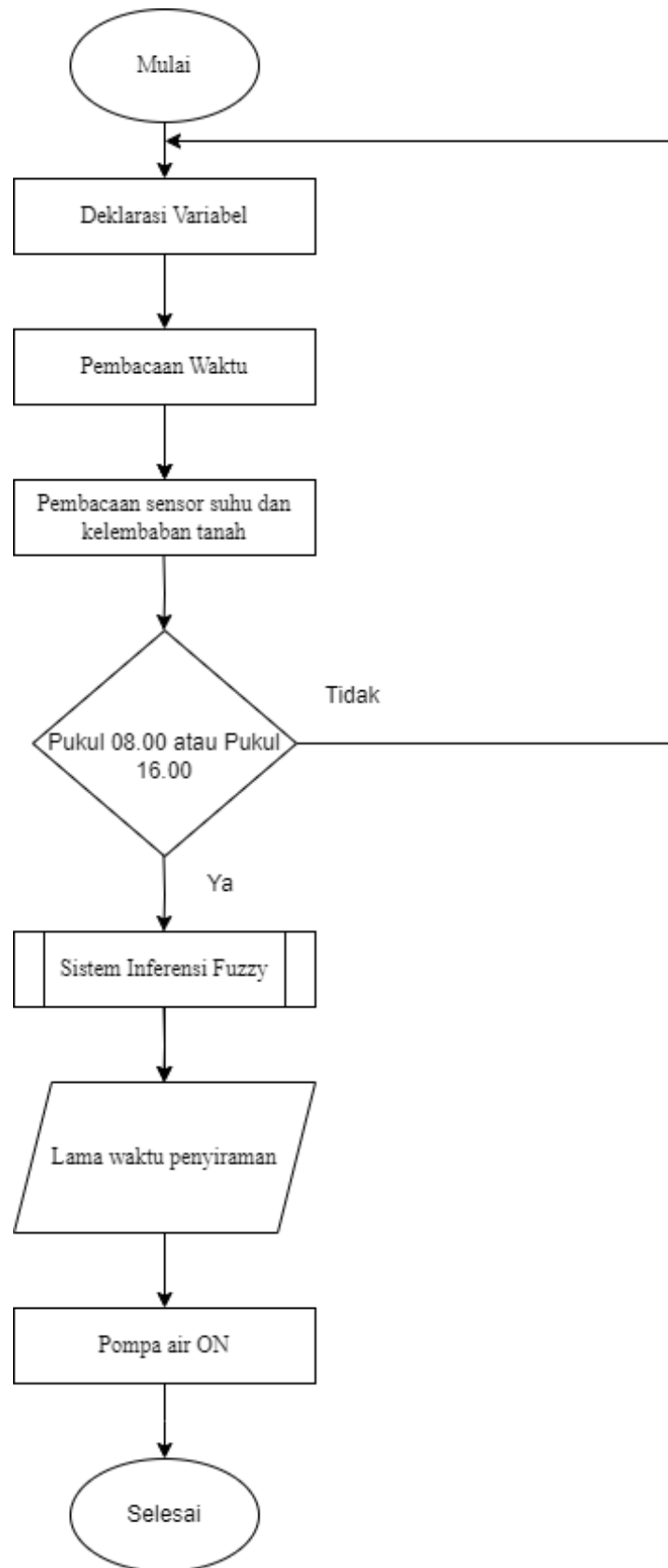
Skema 3D penyiraman otomatis dapat dilihat pada **Gambar 3.8**, dimana tanaman tomat ceri akan diletakkan pada *polybag* dan menggunakan selang sebagai media aliran airnya. Sensor YL-69 akan ditancapkan ke tanah sedalam 3 cm dan sensor DHT11 akan diletakkan di sekitar lingkungan tanaman untuk mendeteksi suhu udara pada lingkungan tanaman.



Gambar 3.8 Skema 3D Penyiraman Otomatis

3.5 Perancangan *Software*

Tahap ini dilakukan perancangan sistem kendali dan monitoring penyiraman otomatis dengan pengendali ESP32. Langkah-langkah pada program Arduino untuk menjalankan penyiraman otomatis dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.

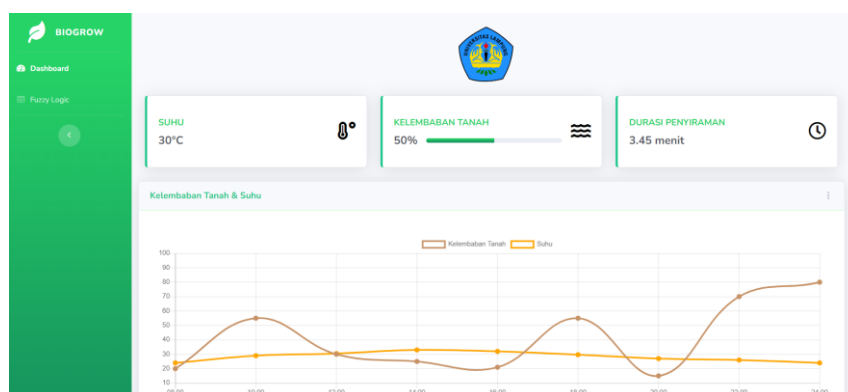


Gambar 3.9 Diagram Alir Penyiraman Otomatis

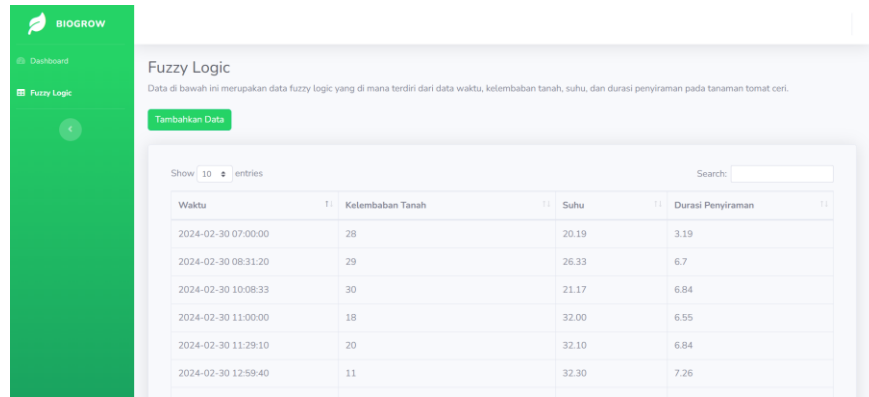
Untuk penyiraman otomatis, alat akan bekerja ketika waktu menunjukkan pukul 08.00 atau menunjukkan pukul 16.00 yang kemudian alat akan melakukan penyiraman dengan pembacaan sensor suhu DHT11 dan sensor kelembapan YL-69. Nilai inputan yang diperoleh dari sensor DHT11 dan sensor YL-69 akan dipakai untuk input pada proses inferensi fuzzy. Proses inferensi fuzzy terdiri dari fuzzifikasi, fuzzy rule, dan defuzzifikasi. *Output* yang dihasilkan dari defuzzifikasi merupakan durasi penyiraman pada tanaman tomat ceri. Hasil durasi penyiraman yang didapatkan yaitu dengan satuan detik. Setelah *output* didapatkan, maka pompa air akan menyala. Dalam penelitian ini, tanaman tomat ceri dibagi menjadi 2 kelompok. Pada kelompok tanaman tomat ceri pertama, penyiraman dikontrol oleh alat *monitoring*. Sedangkan kelompok tanaman ceri kedua, penyiraman tidak dikontrol oleh alat *monitoring*.

3.6 Pembuatan Website

Website akan digunakan sebagai tampilan yang nantinya akan menampilkan nilai kelembapan tanah, suhu udara, dan *fuzzy logic*. Data hasil pembacaan sensor akan dikirimkan oleh ESP32 ke *MypHp* yang kemudian akan dikoneksikan ke program agar nilai ditampilkan pada *website*. Data mengenai suhu udara, kelembapan tanah, dan *fuzzy logic* akan dikirimkan secara *realtime* oleh ESP32. Tampilan *website* dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



(a) Tampilan Pertama Website



BIOGROW

Dashboard

Fuzzy Logic

Tambahkan Data

Show 10 entries

Search:

Waktu	Kelembaban Tanah	Suhu	Durasi Penyiraman
2024-02-30 07:00:00	28	20.19	3.19
2024-02-30 08:31:20	29	26.33	6.7
2024-02-30 10:08:33	30	21.17	6.84
2024-02-30 11:00:00	18	32.00	6.55
2024-02-30 11:29:10	20	32.10	6.84
2024-02-30 12:59:40	11	32.30	7.26

(b) Tampilan Kedua Website

Gambar 3.10 Tampilan Kedua Website

3.7 Pengujian Alat

Pengujian akurasi alat dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor kelembapan tanah YL-69 dan sensor suhu DHT11 dengan alat terkalibrasi. Pada sensor kelembapan tanah, dilakukan kalibrasi dengan cara menggunakan metode *American Standard Method* (ASM). Adapun data pengujian akurasi YL-69 ditunjukkan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Data Pengujian Akurasi YL-69

No.	Massa Tanah (g)	Penambahan Air (ml)	Massa Tanah Basah (g)	Nilai ADC	Sensor YL-69 (%)	Metode ASM (%)	Nilai Error (%)	Akurasi (%)
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								

Kemudian untuk mendapatkan data pengujian akurasi pada sensor suhu DHT11 yaitu dilakukan dengan cara membandingkan nilai suhu keluaran *temperature meter* dengan nilai suhu keluaran dari sensor DHT11. Adapun data pengujian tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Data Pengujian Akurasi Suhu Udara

No.	Suhu (°C)	
	<i>Temperature Meter</i>	DHT11
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		

Selain itu, dilakukan pengujian terhadap sistem monitoring pada website untuk memastikan koneksi melalui protokol *HTTPS* berfungsi dengan baik serta integrasi antara *website*, *database*, dan ESP32 berjalan optimal. Pengujian dilakukan dengan mengukur selisih waktu *delay*, yaitu dengan menghitung perbedaan antara waktu penerimaan data dan waktu pengiriman data. Dalam proses ini, data hasil pembacaan sensor dikirimkan oleh ESP32 ke database MySQL, kemudian diteruskan ke program agar dapat ditampilkan pada *website*. Data pengujian sistem *monitoring website* dapat dilihat pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Data Pengujian *Website*

No.	t_1	t_2	<i>Delay (s)</i>
1			
...			
10			

Selisih waktu *delay* Δt pada rentang waktu transmisi data dapat dihitung dengan **Persamaan (3.1)**

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (3.1)$$

Dan, untuk rata-rata delay $\bar{t}$ menggunakan **Persamaan (3.2)**:

$$\bar{t} = \frac{\Delta t}{n} \quad (3.2)$$

Dimana,

Δt = waktu *delay website* (s)

$\bar{t}$ = rata-rata *delay website* (s)

t_1 = waktu pengiriman data (s)

t_2 = waktu penerimaan data (s)

n = banyaknya data

Kemudian pengujian untuk sistem alat yang menggunakan metode *fuzzy logic* dengan cara membandingkan nilai pada Matlab dengan *output* yang berupa durasi penyiraman pada mikrokontroler. Adapun data pengujian *fuzzy logic* dapat dilihat pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.7 Data Pengujian *Fuzzy Logic*

No.	Waktu	<i>Input</i>		<i>Output (detik)</i>		Akurasi (%)	Error (%)
		Kelembapan	Suhu	Mikrokontroler	Matlab		
1.	Pagi						
	Sore						
2.	Pagi						
	Sore						
3.	Pagi						
	Sore						
4.	Pagi						
	Sore						
5.	Pagi						
	Sore						

Untuk memperoleh nilai error dan nilai akurasi maka perlu menggunakan **Persamaan (3.3)** dan **Persamaan (3.4)** sebagai berikut.

$$E = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

$$A = \left(1 - \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \right) \times 100\% \quad (3.4)$$

Dengan:

A = Akurasi;

E = Error;

Y = Nilai referensi;

X_n = Nilai hasil pengukuran;

$\overline{X_n}$ = Rata-rata nilai hasil pengukuran.

3.8 Pembuatan *Fuzzy Logic*

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode *fuzzy* Mamdani untuk mengatur sistem kontrol untuk durasi penyiraman pada sistem penyiram tanaman yang beroperasi secara otomatis. Dalam kerangka logika *fuzzy* ini, terdapat dua variabel

masukan, yaitu tingkat kelembapan tanah dan suhu, serta satu variabel keluaran, yakni durasi penyiraman pada tanaman.

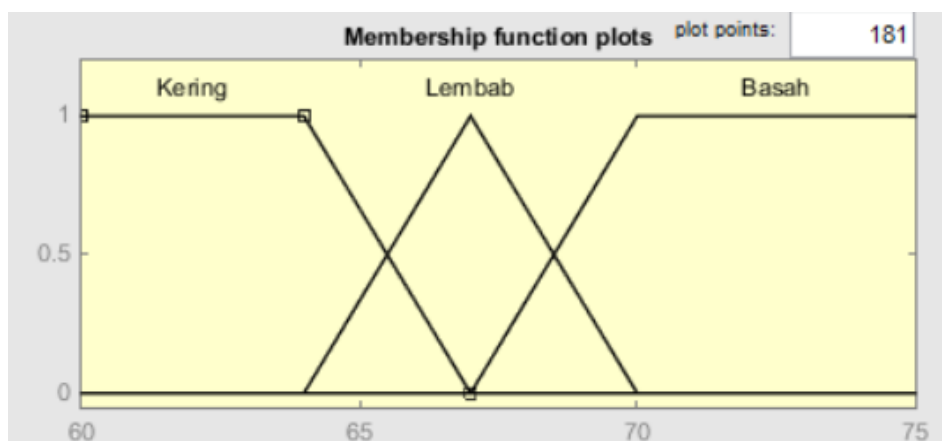
a. Fuzzyfikasi

Data *input* himpunan keanggotaan kelembapan tanah dan himpunan keanggotaan suhu udara serta *output* himpunan keanggotaan durasi penyiraman yang kemudian dibentuk pernyataan berupa variabel linguistik. Variabel linguistik kelembapan tanah, suhu udara, dan durasi penyiraman dapat dilihat pada **Tabel 3.7**, **Tabel 3.8**, dan **Tabel 3.9**.

Tabel 3.8 Himpunan Keanggotaan Kelembapan Tanah (Al-Hakim dkk, 2023)

Kelembapan Tanah (%)	Variabel Linguistik
60 – 67	Kering
64 – 70	Lembab
67 – 75	Basah

Setelah didapatkan data *input* himpunan keanggotaan kelembapan tanah, maka dibuat grafik pada *software* Matlab yang menunjukkan hubungan dari ketiga variabel linguistik di atas. Pembuatan grafik keanggotaan suatu fungsi dapat dinyatakan dengan kurva segitiga atau trapesium, di mana pemilihan kurva ini menentukan hasil terbaik pada pemrograman di mikrokontroler. Pada penelitian ini, kami memilih bentuk kurva segitiga untuk digunakan sebagai grafik keanggotaan kelembapan tanah dan suhu udara. Pembuktian pemilihan kurva segitiga dapat dilihat pada **Lampiran 3**. Grafik keanggotaan kelembapan tanah dapat dilihat pada **Gambar 3.11**.



Gambar 3.11 Grafik Keanggotaan Kelembapan Tanah

Fungsi keanggotaan masing-masing dari himpunan keanggotaan kelembapan tanah dapat dilihat pada **Persamaan (3.5)**, **Persamaan (3.6)**, dan **Persamaan (3.7)**.

$$\mu_K [x] = \begin{cases} 0; x \geq 67 \\ \frac{67-x}{67-64}; 64 \leq x \leq 67 \\ 1; x \leq 64 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\mu_L [x] = \begin{cases} 0; x \leq 64 \text{ atau } x \geq 70 \\ \frac{x-64}{67-64}; 64 \leq x \leq 67 \\ \frac{70-x}{70-67}; 67 \leq x \leq 70 \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\mu_B [x] = \begin{cases} 0; x \leq 67 \\ \frac{x-70}{70-67}; 67 \leq x \leq 70 \\ 1; x \geq 70 \end{cases} \quad (3.7)$$

Keterangan:

μ_K = fungsi keanggotaan kelembapan tanah kering.

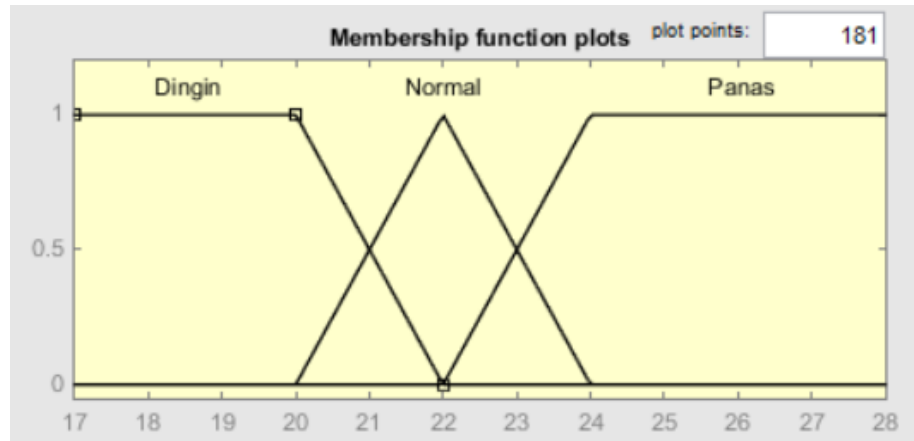
μ_L = fungsi keanggotaan kelembapan tanah lembab.

μ_B = fungsi keanggotaan kelembapan tanah basah.

Tabel 3.9 Himpunan Keanggotaan Suhu Udara (Redaksi Trubus, 2021)

Suhu (°C)	Variabel Linguistik
17 – 22	Dingin
20 – 24	Normal
22 - 28	Panas

Setelah didapatkan data input himpunan keanggotaan suhu, maka dibuat grafik pada *software* Matlab yang menunjukkan hubungan dari kedua variabel linguistik di atas. Grafik keanggotaan suhu dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



Gambar 3.12 Grafik Keanggotaan Suhu

Fungsi keanggotaan masing-masing dari himpunan keanggotaan suhu dapat dilihat pada **Persamaan (3.8)**, **Persamaan (3.9)**, dan **Persamaan (3.10)**.

$$\mu_D [x] = \begin{cases} 0; x \geq 22 \\ \frac{22-x}{22-20}; 20 \leq x \leq 22 \\ 1; x \leq 20 \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0; x \leq 20 \text{ atau } x \geq 24 \\ \frac{x-20}{22-20}; 20 \leq x \leq 22 \\ \frac{24-x}{24-22}; 22 \leq x \leq 24 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$\mu_P [x] = \begin{cases} 0; x \leq 22 \\ \frac{x-22}{24-22}; 22 \leq x \leq 24 \\ 1; x \geq 24 \end{cases} \quad (3.10)$$

Keterangan:

μ_D = fungsi keanggotaan suhu dingin.

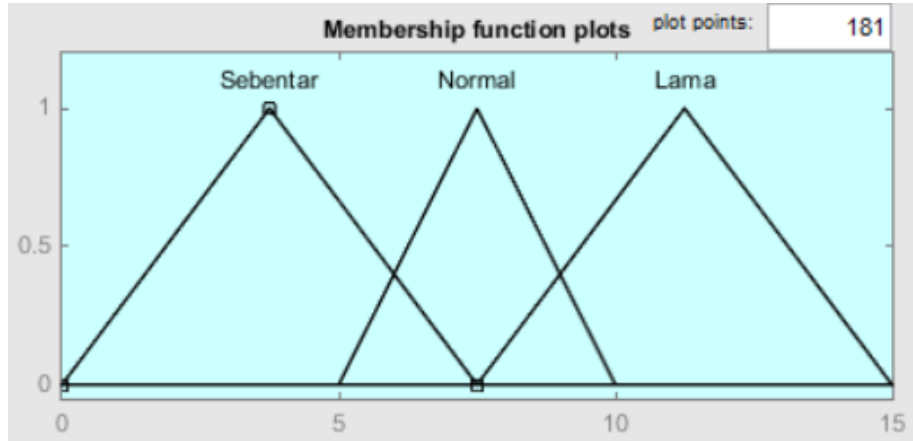
μ_N = fungsi keanggotaan suhu normal.

μ_P = fungsi keanggotaan suhu panas.

Tabel 3.10 Himpunan Keanggotaan Durasi Penyiraman (Kurniawan, 2021)

Durasi Penyiraman (detik)	Variabel Linguistik
0 – 7.5	Sebentar
5 – 10	Normal
7.5 – 15	Lama

Setelah didapatkan data input himpunan keanggotaan durasi penyiraman tanaman, maka dibuat grafik pada *software* Matlab yang menunjukkan hubungan dari kedua variabel linguistik di atas. Grafik keanggotaan durasi penyiraman tanaman dapat dilihat pada **Gambar 3.13**.



Gambar 3.13 Grafik Keanggotaan Durasi Penyiraman

Fungsi keanggotaan masing-masing dari himpunan keanggotaan durasi penyiraman dapat pada **Persamaan (3.11)**, **Persamaan (3.12)**, dan **Persamaan (3.13)**.

$$\mu_S [x] = \begin{cases} 0 ; x < 0 \text{ atau } x > 7.5 \\ \frac{x-0}{3.75-0} ; 0 \leq x \leq 3.75 \\ \frac{7.5-x}{7.5-5} ; 3.75 \leq x \leq 7.5 \\ 1 ; x = 3.75 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\mu_N [x] = \begin{cases} 0 ; x < 5 \text{ atau } x > 10 \\ \frac{x-5}{7.5-5} ; 5 \leq x \leq 7.5 \\ \frac{10-x}{10-7.5} ; 7.5 \leq x \leq 10 \\ 1 ; x = 7.5 \end{cases} \quad (3.12)$$

$$\mu_L [x] = \begin{cases} 0 ; x < 7.5 \text{ atau } x > 15 \\ \frac{x-7.5}{11.25-7.5} ; 7.5 \leq x \leq 11.25 \\ \frac{15-x}{15-11.25} ; 11.25 \leq x \leq 15 \\ 1 ; x = 11.25 \end{cases} \quad (3.13)$$

Keterangan:

μ_S = fungsi keanggotaan durasi penyiraman sebentar.

μ_N = fungsi keanggotaan durasi penyiraman normal.

μ_L = fungsi keanggotaan durasi penyiraman lama.

b. *Fuzzy Rule*

Tahap ini dilakukan suatu pengambilan keputusan yang dilakukan berdasarkan logika-logika yang telah dibuat sehingga menghasilkan suatu *output* keputusan yang berupa suatu tindakan pengendalian. *Fuzzy rule* dapat dilihat pada **Tabel 3.10**.

Tabel 3.11 Aturan *Fuzzy Logic*

Suhu Udara \ Kelembapan				
	Tanah	Kering	Lembab	Basah
Dingin		Lama	Sebentar	Sebentar
Normal		Lama	Normal	Sebentar
Panas		Lama	Normal	Sebentar

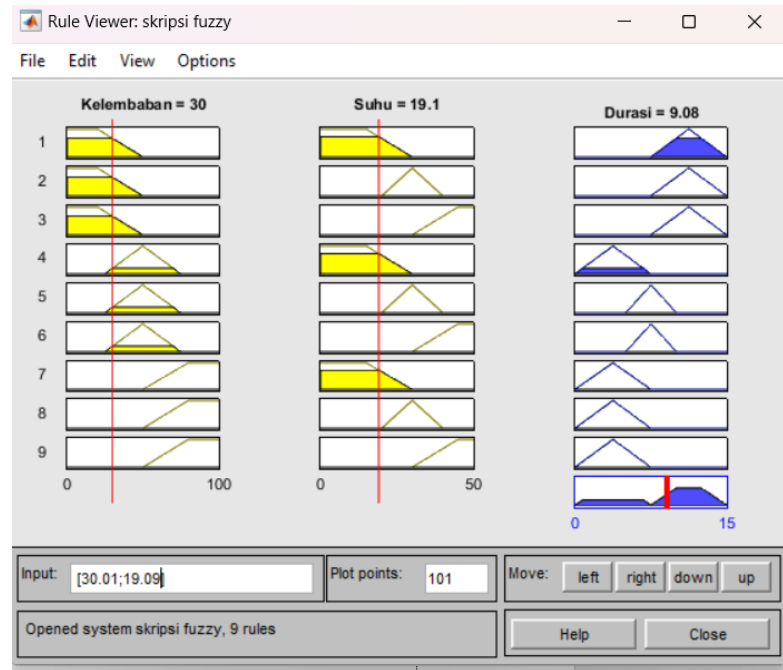
Berdasarkan aturan pada **Tabel 3.10** maka didapatkan 9 *rule* sebagai berikut.

- (R1) *If* kelembapan kering *and* suhu dingin *then* durasi penyiraman lama
- (R2) *If* kelembapan kering *and* suhu normal *then* durasi penyiraman lama
- (R3) *If* kelembapan kering *and* suhu panas *then* durasi penyiraman lama
- (R4) *If* kelembapan normal *and* suhu dingin *then* durasi penyiraman sebentar
- (R5) *If* kelembapan normal *and* suhu normal *then* durasi penyiraman normal
- (R6) *If* kelembapan normal *and* suhu panas *then* durasi penyiraman normal
- (R7) *If* kelembapan basah *and* suhu dingin *then* durasi penyiraman sebentar
- (R8) *If* kelembapan basah *and* suhu normal *then* durasi penyiraman sebentar
- (R9) *If* kelembapan basah *and* suhu panas *then* durasi penyiraman sebentar

Kemudian setelah aturan sudah didapatkan, maka selanjutnya masuk ke dalam perhitungan dengan menggunakan fungsi implikasi dari setiap *rule* yang ada. Perhitungan dari hasil fuzzifikasi akan dimasukkan ke dalam fungsi implikasi untuk diambil nilai terkecil pada setiap nilai dari fuzzifikasi yang dilakukan dengan menggunakan fungsi MIN yang dapat dilihat **Persamaan (3.14)**.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (3.14)$$

Untuk melakukan perhitungan selanjutnya, yaitu dengan menggunakan fungsi MIN dengan menggunakan input kelembapan tanah 30,1% dan suhu 19,1°C maka akan tampil *fuzzy rule* hasil perhitungan Matlab seperti **Gambar 3.14**.



Gambar 3.14 Hasil *Fuzzy Rule*

Berdasarkan **Gambar 3.14** dapat diketahui bahwa aturan yang memenuhi syarat perhitungan suatu input kelembapan tanah 30,1% dan suhu 19,09°C yaitu aturan nomor satu dan nomor dua. Dua aturan tersebut yang memenuhi syarat akan dihitung dengan menggunakan implikasi fungsi MIN. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada perhitung sebagai berikut.

1. Kelembapan tanah 30,1% termasuk keanggotaan kering dan normal.

$$\mu K = \frac{50 - 30,1}{50 - 20} = 0,66$$

$$\mu N = \frac{30,1 - 25}{50 - 25} = 0,20$$

2. Suhu 19,09°C termasuk keanggotaan dingin.

$$\mu D = \frac{30 - 19,09}{30 - 15} = 0,72$$

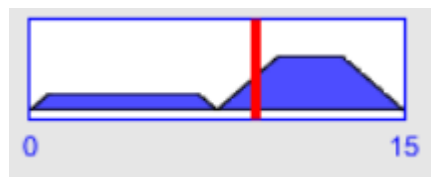
Aturan 1 *If* kelembapan tanah kering *and* suhu dingin *then* durasi penyiraman lama

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \mu K \cap \mu D \\
 &= \text{MIN} (\mu K[30,1], \mu D[19,09]) \\
 &= \text{MIN} (0.66, 0.72) \\
 &= 0.66
 \end{aligned}$$

Aturan 4 *If* kelembapan tanah normal *and* suhu dingin *then* durasi penyiraman sebentar

$$\begin{aligned}
 R_4 &= \mu N \cap \mu D \\
 &= \text{MIN} (\mu N[30,1], \mu D[19,09]) \\
 &= \text{MIN} (0.20, 0.72) \\
 &= 0.20
 \end{aligned}$$

Setelah hasil perhitungan dari tiap *rule* di atas dengan menggunakan implikasi fungsi MIN, langkah selanjutnya dilakukan proses pengkomposisian dengan menggunakan metode MAX yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 3.15**.



Gambar 3.15 Hasil Komposisi *Fuzzy Rule*

c. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses pengubahan variabel-variabel tersebut menjadi nilai *crisp* lagi. Penelitian ini menggunakan metode *Center of Area* (CoA) atau centroid untuk melakukan proses defuzzifikasi. Perhitungan pada metode centroid yaitu dengan mencari nilai titik tengah dari fungsi keanggotaan durasi penyiraman, dimana durasi penyiraman memiliki fungsi keanggotaan sebentar, sebentar, dan lama. Untuk mencari nilai tengah dari fungsi keanggotaan sebentar, sedang, dan lama digunakan persamaan luas segitiga karena ketiga fungsi keanggotaan tersebut mempunyai bentuk segitiga. Perhitungan CoA pada fungsi keanggotaan sebentar yaitu dilakukan dengan mengalikan alas dengan tingi lalu dibagi dua. Kemudian untuk mendapatkan nilai tengah yaitu dengan cara menambahkan range minimum pada fungsi keanggotaan sebentar dengan perhitungan luas.

$$P = 10 - 0 = 10$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 0 + 3.75 = 3.75$$

Perhitungan CoA pada fungsi keanggotaan normal yaitu dilakukan dengan mengalikan alas dengan tingi lalu dibagi dua. Kemudian untuk mendapatkan nilai tengah yaitu dengan cara menambahkan range minimum pada fungsi keanggotaan normal dengan perhitungan luas.

$$P = 10 - 5 = 5$$

$$L = \frac{5 \times 1}{2} = 2.5$$

$$\text{CoA} = 5 + 2.5 = 7.5$$

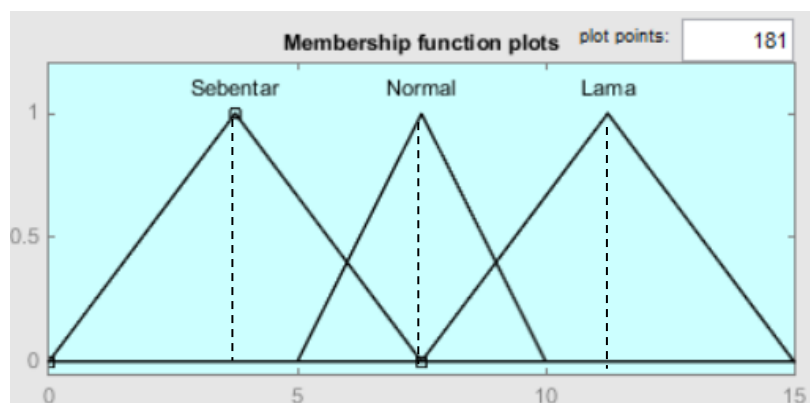
Perhitungan CoA pada fungsi keanggotaan lama yaitu dilakukan dengan mengalikan alas dengan tingi lalu dibagi dua. Kemudian untuk mendapatkan nilai tengah yaitu dengan cara menambahkan range minimum pada fungsi keanggotaan lama dengan perhitungan luas.

$$P = 15 - 7.5 = 7.5$$

$$L = \frac{7.5 \times 1}{2} = 3.75$$

$$\text{CoA} = 7.5 + 3.75 = 11.25$$

Nilai tengah dari setiap fungsi keanggotaan durasi penyiraman dapat dilihat pada **Gambar 3.16**.



Gambar 3.16 Nilai Tengah Durasi Penyiraman

Tabel 3.12 Nilai Luas dan Titik Tengah

Keanggotaan	Luas (L)	Titik Tengah (CoA)
Sebentar	3.75	3.75
Normal	2.5	7.5
Lama	3.75	11.25

Setelah data luas dan titik tengah didapatkan seperti pada **Tabel 3.11**, maka selanjutnya adalah perhitungan defuzzifikasi menggunakan metode centroid yang ditunjukkan pada **Persamaan (3.15)**.

$$(CoA) = \frac{\sum_{i=1}^n aturan(i) \times CoA(i) \times L(i)}{\sum_{i=1}^n aturan(i) \times L(i)} \quad (3.15)$$

Keterangan:

Rule = Fungsi implikasi fuzzyfikasi.

CoA = Titik tengah fungsi keanggotaan variabel waktu (durasi penyiraman).

Luas = Luas daerah keanggotaan variabel waktu (durasi penyiraman).

n = Jumlah rule yang digunakan.

i = data ke-n (Rahmawati dkk, 2021).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Mikrokontroler ESP32 dapat digunakan sebagai kendali untuk sistem penyiraman tanaman otomatis yang bekerja dengan baik dengan hasil pengukuran alat *monitoring* yang dapat dilihat melalui *website*.
2. Sensor DHT11 yang digunakan untuk mengukur suhu udara mampu mendeteksi suhu udara dengan baik yang ditandai dengan akurasi rata-rata sebesar 99,37% dan sensor YL-69 yang digunakan pada alat monitoring ini mampu untuk mendeteksi kelembapan tanah. Hal ini terlihat dari tingkat akurasi rata-rata yang memiliki nilai sebesar 97,21%.
3. Metode *fuzzy logic* dapat diterapkan dalam sistem penyiraman otomatis untuk menentukan durasi penyiraman yang dapat diakses melalui *website*. Hal ini terlihat dari hasil pengujian dari sistem *fuzzy logic* didapatkan nilai akurasi rata-rata sebesar 98,35% dan error sebesar 1,65%.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu menggunakan kamera agar tanaman dapat memantau kondisi tanaman secara visual dan dikontrol dari jarak jauh serta ditambahkan lagi sensor seperti sensor cahaya atau sensor pH tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Algorista. (2020). Sensor Kelembaban Tanah atau Soil Moisture. <https://www.algorista.com/2020/01/sensor-soil-moisture.html>. Diakses pada tanggal 02 Februari 2025 pukul 10.17 WIB.
- Al-Hakim, N., Aminudin, A., dan Iryanti, M. (2023). Sistem Kendali Kadar Air Tanah Pada Tanaman Tomat Ceri Menggunakan Mikrokontroler Esp32 Dengan Algoritma Long Short Term Memory. *Prosiding Seminal Nasional Fisika*, 9, 39–46.
- Al-Khairi, M. H. (2023). Cara Mengukur Suhu dan Kelembaban dengan DHT11 dan Arduino. <https://www.mahirelektro.com/2020/02/tutorial-menggunakan-sensor-DHT11-pada-Arduino.html>. Diakses pada tanggal 13 November 2023 pukul 22.15 WIB.
- Alordzinu, K. E., Jiuhaio, L., Appiah, S. A., Aasmi, A. A. L., Blege, P. K., and Afful, E. A. (2021). Water stress affects the physio-morphological development of tomato growth. *African Journal of Agricultural Research*, 17(5), 733–742.
- Andariesta, D. T., Fadhlika, M., Rajak, A., Aminah, N. S., dan Djamal, M. (2015). Sistem Irigasi Sederhana Menggunakan Sensor Kelembaban untuk Otomatisasi dan Optimalisasi Pengairan Lahan. *PROSIDING SKF*, 9(7), 89–93.
- Anggara Tri Bayu, Rohmah Mimin Fatchiyatur, dan Sugianto. (2018). Sistem Pengukur Kelembapan Tanah Pertanian Dan Penyiraman Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT). *Sistem Pengukur Kelembapan Tanah Pertanian Dan Penyiraman Otomatis Berbasis Internet of Things*, 1–8.
- Ardiansah, R., Susanto, R., dan Pradana, A. I. (2023). Sistem penyiraman otomatis pada tanaman dengan monitoring berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Pendidikan Teknik Electro*, 8(1), 31–38.
- Arifin, J., Zulita, L. N., dan Hermawansyah, H. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 12(1), 89–98.

- Asmazori, M., dan Firmawati, N. (2021). Rancang Bangun Alat Pendeteksi NOx dan CO Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Notifikasi Via Telegram dan Suara. *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, 5(2), 57–62.
- Asriyanik, dan Tarwati, K. (2020). Metode Fuzzy Logic Untuk Penentuan Kelayakan Penerima Beasiswa Mahasiswa Di Universitas Muhammadiyah Sukabumi. *Jurnal Sistem Informasi*, 1(2), 56-67.
- Bibitbunga. (2023). Cara Menanam Tomat Cherry dalam Pot. <https://bibitbunga.com/cara-menanam-tomat-cherry-dalam-pot/>. Diakses pada tanggal 26 Oktober 2023 pukul 20.50 WIB.
- Daniel, R., Utomo, A. D. N., dan Setyoko, Y. A. (2022). Rancangan Bangun Alat Monitoring Kelembaban, PH Tanah dan Pompa Otomatis pada Tanaman Tomat dan Cabai. *LEDGER*, 1(4), 161-170.
- Degeng, I. W., dan Prabowo, Y. (2015). Alat ukur kelembaban tanah berbasis atmega 8535. *Arsitron*, 6(1), 19–25.
- Efendi, Y. (2018). Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 4(2), 21–27.
- Fadhilah, M. D., Santoso, I. H., dan Astuti, S. (2021). Rancang bangun alat penyiraman otomatis berbasis Internet of Things dengan Notifikasi Whatsapp. *Journal Engineering*, 8(6), 11816–11828.
- Fauzi, G., dan Ardhiansyah, M. (2022). Implementasi Alat Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Internet Of Things Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Kebun Artawi Flora. *INFORMATIKA*, 3(1), 92–104.
- Febriany, N., Agustina, F., dan Marwati, R. (2017). Aplikasi Metode Fuzzy Mamdani Dalam Penentuan Status Gizi Dan Menggunakan Software Matlab. *Jurnal EurekaMatika*, 5(1), 84–96.
- Haidar, L. R. (2023). Rancang Bangun Alat Ukur Kelembapan Tanah Menggunakan Sensor Soil Moisture pada Dukuh Tambakroto. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi (Juisi)*, 2(1), 70–78.
- Harfina, D. M., & Zaini, Z. (2022). Otomatisasi Penyiraman Tomat Ceri bermedia Tanam Cocopeat berbasis RTC dengan Energi Surya di Parak Hidroponik Padang. *Jurnal Andalas: Rekayasa Dan Penerapan Teknologi*, 1(2), 47–56.
- Horan, Brendan. (2013). *Practical Raspberry Pi*. California: Apress Media.
- Jumingin, J., Atina, A., dan Juanda, A. (2022). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor DHT11. *Jurnal Ampere*, 7(2), 73-83.

- Iqbar, M. Y., dan Kartika, K. P. (2020). Rancang Bangun Lampu Portable Otomatis Menggunakan RTC Berbasis Arduino. *Antivirus: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 14(1), 61-72.
- Kamal, Firdayanti, Tyas, U. M., Buckhari, A. A., dan Pattasang. (2023). Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital. *TEKNOS: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 1(1), 1–9.
- Kalaburgi, Narayan. (2021). *Working of DHT sensor – DHT11 and DHT22*. https://nerdyelectronics.com/working-of-dht-sensor-dht11-and-dht22/#google_vignette. Diakses pada tanggal 24 Januari 2025 pukul 21.42 WIB.
- Kurniawan, W. A. (2020). Implementasi Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis dan Monitoring Berbasis *Internet of Things* Menggunakan *Fuzzy Logic Control*. *Skripsi*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kusumadewi, S., dan Purnomo, H. (2004). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Mendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Latif, N. (2021). Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 7(1), 16–20.
- Lahsasna, A., Aion, R. N., and Wah, T. Y. (2010). Enhancement of transparency and accuracy of credit scoring models through genetic fuzzy classifier. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 4(1), 136–158.
- Magdy, Khaled. (2025). *Arduino DHT11 Sensor (Humidity & Temperature) Interfacing*. <https://deepbluembedded.com/arduino-dht11-sensor-humidity-temperature/>. Diakses pada tanggal 02 Februari 2025 pada pukul 09.03 WIB.
- Mardika, A. G., dan Kartadie, R. (2019). Mengatur Kelembaban Tanah Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Y1-69 Berbasis Arduino Pada Media Tanam Pohon Gaharu. *Journal of Education and Information Communication Technology*, 3(2), 130–140.
- Maulana, E., dan Idrus, M. (2010). Pengaruh Interval Waktu Pemberian Air terhadap Produktivitas Tanaman Tomat Di Lahan kering Dataran Rendah pada Musim Kemarau *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 10(3), 207–212.
- Muntahanah, P., dan Handayani, S. (2021). Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Strategi Belajar Siswa Pada Persiapan Ujian Nasional Berbasis Komputer. *Jurnal Pseudocode*, 8(2), 108-117.
- Mursalin, S. B., Sunardi, H., dan Zulkifli, Z. (2020). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah Menggunakan Logika Fuzzy. *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, 11(1), 47–54.

- Nasir, Syed Zain. (2019). *Introduction to DHT22*. <https://www.theengineeringprojects.com/2019/02/introduction-to-dht22.html>. Diakses pada tanggal 24 Januari 2025 pukul 20.35 WIB.
- Nasution, H. (2020). Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 4–8.
- Nizam, M. N., Haris Yuana, dan Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767–772.
- Nurwijayo, Wahyu. (2023). Cara Menanam Tomat Ceri di Rumah dan Tip Perawatannya agar Berbuah Lebat. <https://gdm.id/cara-menanam-tomat-ceri/>. Diakses pada tanggal 04 Maret 2024 Pukul 22.01 WIB.
- Nyebartilmu.com. (2017). Tutorial Arduino Mengakses Module RTC DS3231. <https://www.nyebartilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-module-rtc-ds3231/>. Diakses pada tanggal 04 Maret 2024 pukul 16.46 WIB.
- Patel, A., Debnath, N. C., dan Bhusan, B. (2022). *Data Science with Semantic Technologies Theory, Practice, and Application*. USA: John Wiley dan Sons, Inc.
- Prafanto, A., Budiman, E., Widagdo, P. P., Putra, G. M., dan Wardhana, R. (2021). Pendeteksi Kehadiran menggunakan ESP32 untuk Sistem Pengunci Pintu Otomatis. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 7(1), 37-43.
- Pratama, I. P. A. M., Suweden, I. N., and Swamardika, I. B. A. (2013). Sistem Kontrol Pergerakan Pada Robot Line Follower Berbasis Hybrid PID-Fuzzy Logic. *Prosiding Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems*, 14–15.
- Priy, S., and Rajput, A. (2023). Fuzzy Logic Intoduction. <https://www.geeksforgeeks.org/fuzzy-logic-introduction/>. Diakses pada tanggal 13 November 2023 pukul 19.30 WIB.
- Raharjo, E. B., Marwanto, S., dan Romadhona, A. (2019). Rancangan Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembapan Ruang Server Berbasis Internet of Things. *Teknika*, 6(2), 61–68.
- Rahmawati, D., Ubaidillah, A., dan Setiawan, H. (2021). *Sitem Kendali Logika Fuzzy dan Aplikasinya*. Malang: Media Nusa Creative.
- Rangan, A. Y., Amelia Yusnita, dan Muhammad Awaludin. (2020). Sistem Monitoring berbasis Internet of things pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 4(2), 168–183.

- Redaksi Trubus. (2021). *Tomat Top Pilihan Pekebun*. Depok: PT Trubus Swadaya.
- Rindengan, A. J., dan Langi, Y. A. R. (2016). *Sistem Fuzzy*. Universitas Sam Ratulangi Manado: CV. Patra Media Grafindo.
- Saifudin, dan Setiaji, A. Y. (2019). Sistem Informasi Arsip Surat (Sinau) Berbasis Web Pada Kantor Desa Karangsalam Kecamatan Baturraden. *Evolusi: Jurnal Sains dan Manajemen*, 7(2), 15-21.
- Salman, M. A., and Seno, N. I. (2012). A Comparison of Mamdani and Sugeno Inference Systems for a Satellite Image Classification. *Anbar Journal for Engineering Sciences*, 296-306.
- Sanca, P. A. (2018). Perancangan Mesin Penyiraman Taman Menggunakan Fuzzy Logic. *INAJET*, 1(1), 28-34.
- Santoso, S. P., dan Wijayanto, F. (2022). Rancang Bangun Akses Pintu dengan Sensor Suhu dan Handsanitizer Otomatis Berbasis Arduino. *Jurnal Elektro*, 10(1), 20-31.
- Sasongko, H., Salamah, Z., Pratiwi, P., dan Utami, N. P. (2021). *Rumah Sayur Inovasi Ketahanan Pangan di Samongari*. Yogyakarta: Lembaga Pendidikan Anak Usia Dini Fatimah Azzahrah.
- Satriadi, A., Wahyudi, dan Christiyono, Y. (2019). Perancangan Home Automation Berbasis NodeMcu. *Transient*, 8(1), 2685–0206.
- Singh, R., Gehlot, A., Jain, V., and Malik, P. K. (2020). *Handbook of Research on the Internet of Things Applications in Robotics and Automation*. USA: IGI Global.
- Stevanus, Setiadikarunia, D. (2013). Alat Pengukur Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler PIC 16F84. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1), 36-46.
- Thirafi, D. F. (2023). Analisis dan Implementasi Sistem Peringatan Dini Bencana Tanah Longsor Menggunakan Sensor Hujan dan Potensiometer Geser Berbasis Internet Of Things. *Skripsi*, Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
- Tim Smart Genesis. (2018). *Top Modul: Rangkuman Pengetahuan Alam Lengkap*. Yogyakarta: Genesis Learning.
- Wilianto, dan Kurniawan, A. (2018). Sejarah, Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things. *Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, 8(2), 36–41.

Yaakub, S., dan Meilano, R. (2020). Potensi Sensor Kelembaban Tanah YL-69 Sebagai Pemonitor Tingkat Kelembaban Media Tanam Palawija. *Jurnal Elektronika Listrik Dan Teknologi Informasi Terapan*, 1(1), 7-16.