RANCANG BANGUN SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN JAGUNG BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC

SKRIPSI

Disusun Oleh:

NAZWA SALSABILLAH

220212062

TEKNIK KOMPUTER DAN JARINGAN

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY

FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN

PRODI PENDIDIKAN TEKNOLOGI INFORMASI

2026 M/1448 H

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

RANCANG BANGUN SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN JAGUNG BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC

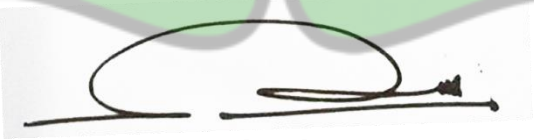
Oleh :

NAZWA SALSABILLAH 220212062

BIDANG PEMINATAN : TEKNIK KOMPUTER DAN JARINGAN

Telah disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



(Firmansyah, S.kom., M.T.)

NIP: 198704212015031002

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN MODUL AJAR BERBASIS SIMULASI PROYEK MENGGUNAKAN TINKERCAD SEBAGAI UPAYA MENINGKATKAN KETERAMPILAN PRAKTIK SISWA DALAM BIDANG IOT

SKRIPSI

Telah diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus serta diterima sebagai salah satu beban studi Program Sarjana (S-1) dalam Pendidikan Teknologi Informasi.

Pada:
Kamis, 27 Agustus 2026
14 Rabiul Awal 1447 H

Darussalam – Banda Aceh
Panitia Ujian Munaqasyah
Skripsi

Ketua	Sekretaris
Firmansyah, S.Kom,. M.T.	**Sarini vita dewi, S.T., M.T.**
NIP/NIDN: 198704212015031002	NIP/NIDN: 198712222022032001
Penguji 1	Penguji 2
Nazaruddin Ahmad, M.T.	**Oris Krianto Sulaiman, S.T., M.Kom.**
NIP/NIDN: 198206052014031002	NIP/NIDN: 199003162002505 1004

Mengetahui,
Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry
Darussalam, Banda Aceh

Prof. Safrul Muluk, S.Ag., MA., M.Ed. Ph.D.
NIP. 197501021997031003

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama	:	Nazwa Salsabillah
Nim	:	220212062
Prodi	:	Pendidikan Teknologi Informasi
Fakultas	:	Tarbiyah dan Keguruan
Judul Skripsi	:	Sisitem Informasi Manajemen Penyimpanan Data Excel Berbasis Web Pada Dinas Perpustakaan Dan Kearsipan Aceh

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan.
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain.
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya.
4. Tidak melakukan manipulasi dan pemalsuan data
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggung jawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap diberikan sanksi lain berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Banda Aceh, 27 Agustus 2026

Yang Menyatakan

Nazwa salsabillah

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT) menggunakan ESP32 dan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Sistem menggunakan tiga input fuzzy, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Data tersebut diolah menggunakan 27 aturan fuzzy. Operator MIN digunakan untuk menentukan kekuatan setiap aturan, sedangkan operator MAX digunakan untuk menggabungkan aturan berdasarkan kategori keluaran. Keluaran fuzzy direpresentasikan dengan nilai singleton, yaitu 15 untuk OFF, 40 untuk LOW, 65 untuk MEDIUM, dan 90 untuk HIGH, kemudian dihitung menggunakan rata-rata berbobot. Hasil keluaran digunakan untuk menentukan tingkat penyiraman dan durasi kerja pompa, yaitu 0 detik untuk OFF, 5 detik untuk LOW, 10 detik untuk MEDIUM, dan 15 detik untuk HIGH. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai keluaran fuzzy berada pada rentang 28,64–82,35. Kelembapan tanah yang rendah menghasilkan level HIGH dengan durasi pompa 15 detik. Pada kelembapan tanah sedang, sistem menghasilkan level MEDIUM atau LOW dengan durasi 10 atau 5 detik. Sementara itu, kelembapan tanah yang lebih tinggi menghasilkan level OFF sehingga pompa tidak aktif. Nilai sensor, keluaran fuzzy, level penyiraman, dan status pompa dapat dipantau melalui aplikasi Blynk. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan penyiraman otomatis berdasarkan kondisi sensor dan mengendalikan pompa sesuai keputusan fuzzy.

Kata kunci: Internet of Things, Fuzzy Sugeno, ESP32, Blynk, penyiraman tanaman jagung.

جامعة الرانري
AR-RANIRY

Abstract

This study aims to design an Internet of Things (IOT)-based corn irrigation system using an ESP32 and a modified zero-order Sugeno fuzzy method. The system uses three fuzzy inputs: soil moisture, temperature, and air humidity. The sensor data are processed using 27 fuzzy rules. The MIN operator is used to determine the firing strength of each rule, while the MAX operator combines rules with the same output category. The fuzzy output is represented by singleton values of 15 for OFF, 40 for LOW, 65 for MEDIUM, and 90 for HIGH, which are then calculated using a weighted average. The resulting output determines the watering level and pump operating duration: 0 seconds for OFF, 5 seconds for LOW, 10 seconds for MEDIUM, and 15 seconds for HIGH. The test results show that the fuzzy output values range from 28.64 to 82.35. Low soil moisture produces a HIGH watering level with a pump duration of 15 seconds. At moderate soil moisture levels, the system produces MEDIUM or LOW watering levels with pump durations of 10 or 5 seconds. At higher soil moisture levels, the system produces an OFF status, so the pump remains inactive. Soil moisture, temperature, air humidity, fuzzy output, watering level, and pump status can be monitored through the Blynk application. These results indicate that the system can perform automatic irrigation based on sensor conditions and control the pump according to the fuzzy decision.

Keywords: Internet of Things, Sugeno Fuzzy, ESP32, Blynk, corn plant irrigation.

جامعة الرانري
AR-RANIRY

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Jagung Berbasis IOT Menggunakan Fuzzy Logic".

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan tugas akademik pada Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembangunan sistem penyiraman tanaman jagung otomatis berbasis Internet of Things (IOT) dengan memanfaatkan metode logika fuzzy sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman serta aplikasi Blynk sebagai media monitoring secara real-time. Diharapkan sistem yang dirancang dapat membantu proses penyiraman tanaman menjadi lebih efektif, efisien, dan sesuai dengan kondisi kebutuhan tanaman. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak dan Ibu, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, motivasi, serta dukungan moril dan materil selama penulis menempuh pendidikan.
2. Ibu Mira Maisura, M.Pd., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi yang telah memberikan kesempatan dan dukungan kepada penulis dalam melaksanakan penelitian.

3. Bapak Firmansyah, S.kom., M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan arahan, masukan, motivasi, serta bimbingan dalam penyusunan skripsi penelitian ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Pendidikan Teknologi Informasi UIN Ar-Raniry Banda Aceh yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan arahan selama masa perkuliahan.
5. Seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga skripsi penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi penelitian ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini di masa yang akan datang. Semoga skripsi penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya, serta memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi Internet of Things (IOT) di bidang pertanian, khususnya pada sistem penyiraman tanaman otomatis.

Banda Aceh, Juni 2026

Penyusun,

Nazwa Salsabillah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..... **i**

KATA PENGANTAR ..... **iv**

DAFTAR ISI ..... **vi**

DAFTAR TABEL ..... **ix**

DAFTAR GAMBAR ..... **x**

BAB I **1**

PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Batasan Penelitian 5

1.5 Manfaat Penelitian 5

1.6 Relevansi Penelitian Terdahulu 6

1.7 Sistematika Penulisan 8

BAB II **10**

LANDASAN TEORETIS **10**

2.1 Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Jagung Otomatis Berbasis IOT 10

2.1.1 Smart Farming 10

2.1.2 Internet of Things (IOT) 11

2.1.3 Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis 12

2.1.4 Sensor dan Komponen Pendukung Sistem 14

2.2 Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis 22

2.2.1 Logika Fuzzy Sugeno 22

2.2.2 Parameter Penelitian 25

BAB III 29

METODOLOGI PENELITIAN 29

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian 29

3.2 Subjek Penelitian dan Sumber Data 29

3.3 Teknik Pengumpulan Data 30

3.4 Teknik Analisis Data 31

3.5 Instrumen Penelitian 32

3.5.1 Perangkat Keras 32

3.5.2 Perangkat Lunak 32

3.5.3 Data Pengujian 32

3.6 Rancangan Penelitian 33

3.6.1 Alur Penelitian 33

3.6.2 Perancangan Sistem 34

3.6.3 Perancangan Perangkat Keras 36

جامعة الرانري
AR-RANIRY

3.6.4 Perancangan Perangkat Lunak 38

BAB IV 49

HASIL DAN PEMBAHASAN 49

4.1 Implementasi Sistem 49

4.2 Hasil Pengujian Fuzzy dan Pompa 50

4.3 Monitoring Sistem melalui Blynk 52

4.4 Pembahasan 53

BAB V 54

KESIMPULAN DAN SARAN 54

5.1 Kesimpulan 54

5.2 Saran 55

DAFTAR PUSTAKA 56

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian terkait 7

Tabel 3.1 Komponen Perangkat Keras Sistem 37

Tabel 3.2 Perangkat Lunak yang Digunakan 38

Tabel 3.3 Domain Variabel Fuzzy 40

Tabel 3.4 Batas Fungsi Keanggotaan Variabel Input 42

Tabel 3.5 Basis Aturan Fuzzy 43

Tabel 3.6 Nilai Singleton Keluaran 45

Tabel 3.7 Pemetaan Keluaran Fuzzy ke Durasi Pompa 45

Tabel 3.8 Hasil Fuzzifikasi Data Pengujian 47

Tabel 3.9 Hasil Evaluasi Aturan Aktif 47

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Fuzzy dan Pompa 50

جامعة الرانري
AR-RANIRY

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture Sensor) 15

Gambar 2.2 Sensor Suhu dan Kelembapan DHT11 16

Gambar 2.3 Mikrokontroler ESP32 17

Gambar 2.4 Breadboard dan Kabel Jumper 18

Gambar 2.5 Modul Relay.....19

Gambar 2.6 Pompa Air dan Selang 20

Gambar 2.7 Power Supply / Adaptor DC 21

Gambar 2.8 Aplikasi Blynk 22

Gambar 2.9 Konsep Proses Fuzzy Sugeno pada Sistem Penyiraman 24

Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian 34

Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem 35

Gambar 3.3 Flowchart Sistem Penyiraman Otomatis 36

Gambar 3.4 Rancangan Perangkat Keras Sistem 38

Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan Kelembapan Tanah 41

Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Suhu 41

Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan Kelembapan Udara 42

Gambar 4.1 Implementasi Perangkat Keras dan Proses Penyiraman Tanaman Jagung 49

Gambar 4.2 Bukti Serial Monitor Hasil Pengujian 51

Gambar 4.3 Tampilan Monitoring Sistem melalui Blynk 52

جامعة الرانري
AR-RANIRY

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital pada sektor pertanian mendorong perubahan dalam pengelolaan budidaya tanaman. Kegiatan pertanian yang sebelumnya banyak dilakukan secara konvensional mulai memanfaatkan sensor, mikrokontroler, jaringan internet, dan sistem kendali otomatis. Kumar dkk. [1] menjelaskan bahwa Internet of Things (IOT) dalam bidang pertanian dapat digunakan untuk memantau kondisi lingkungan, mengumpulkan data, serta mendukung otomatisasi proses budidaya. Penerapan teknologi tersebut dapat membantu petani memperoleh informasi kondisi tanaman dan media tanam secara lebih terukur.

Konsep tersebut sejalan dengan penerapan smart farming yang mengintegrasikan sensor, aktuator, perangkat komunikasi, pengolahan data, dan aplikasi monitoring. Soussi dkk. [2] menjelaskan bahwa smart sensor dan IOT dapat mendukung pertanian presisi melalui pengumpulan data lingkungan serta pemanfaatan teknologi digital dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian, penerapan IOT pada bidang pertanian dapat digunakan untuk membantu proses monitoring dan pengendalian tanaman secara lebih praktis.

Salah satu kegiatan penting dalam budidaya tanaman jagung adalah penyiraman. Tanaman jagung membutuhkan air yang cukup untuk mendukung pertumbuhan akar, batang, daun, hingga pembentukan tongkol. Penyiraman yang tidak sesuai dapat menyebabkan tanaman kekurangan air atau menerima air secara

berlebihan. Penyiraman secara manual juga belum selalu mempertimbangkan kondisi aktual media tanam dan lingkungan sekitar tanaman. Lakhiar dkk. [3] menjelaskan bahwa precision irrigation menggabungkan sensor tanah, sensor lingkungan, aktuator, dan sistem kendali untuk menyalurkan air sesuai kebutuhan tanaman. Dong dkk. [4] juga menjelaskan bahwa sistem irigasi berbasis IOT dapat mengumpulkan data lapangan dan menggunakannya sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan sistem penyiraman tanaman jagung berbasis IOT yang mampu membaca kondisi media tanam dan lingkungan sebelum menentukan keputusan penyiraman. Sistem ini menggunakan sensor kelembapan tanah untuk membaca kondisi media tanam serta sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan udara. Data dari ketiga masukan tersebut diproses oleh ESP32 menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Metode fuzzy digunakan karena mampu mengolah perubahan kondisi secara bertahap, seperti kering, lembap, dan basah, sehingga keputusan tidak hanya ditentukan oleh satu batas nilai. Alam dan Nasuha [5] menunjukkan bahwa logika fuzzy dapat diterapkan pada sistem pengendalian lingkungan tanaman berbasis IOT. Syaefulloh dan Permata [6] juga menerapkan metode fuzzy pada sistem pemantauan tanaman untuk mendukung pengambilan keputusan berdasarkan data sensor.

Pada implementasinya, sistem menggunakan tiga masukan fuzzy, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Ketiga masukan tersebut dikombinasikan menjadi 27 aturan fuzzy. Operator MIN digunakan untuk menentukan kekuatan aturan, sedangkan hasil aturan dengan kategori keluaran yang sama digabungkan menggunakan MAX. Keluaran setiap kategori direpresentasikan menggunakan nilai singleton, yaitu 15 untuk OFF, 40 untuk LOW, 65 untuk

MEDIUM, dan 90 untuk HIGH. Nilai tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan rata-rata berbobot untuk memperoleh nilai keluaran fuzzy yang menjadi dasar penentuan tingkat penyiraman dan durasi kerja pompa.

Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa IOT dan logika fuzzy dapat digunakan dalam sistem monitoring serta pengendalian tanaman. Arief dkk. [7] mengembangkan sistem pemantauan dan penyiraman tanaman cabai pada greenhouse menggunakan Fuzzy berbasis Blynk IOT. Rosma dkk. [8] merancang sistem fertigasi tetes otomatis berbasis mikrokontroler. Sabil dkk. [9] menerapkan metode fuzzy logic pada sistem pemantauan tanaman berbasis IOT, sedangkan Saputra dan Suryono [10] mengembangkan sistem irigasi tetes tanaman jagung menggunakan sensor kelembapan tanah dan mikrokontroler ESP32. Berdasarkan penelitian tersebut, masih terdapat peluang untuk mengembangkan sistem penyiraman tanaman jagung yang menggabungkan tiga masukan sensor, metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi, kendali pompa melalui relay, serta monitoring melalui aplikasi Blynk.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan judul "**Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Jagung Berbasis IOT Menggunakan Metode Fuzzy Logic**". Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem yang membaca kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara, kemudian mengolah data tersebut menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi untuk menentukan tingkat penyiraman. Hasil keputusan digunakan oleh ESP32 untuk mengendalikan relay dan pompa air dengan durasi tertentu. Selain itu, data sensor, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa dikirimkan ke aplikasi Blynk sehingga kondisi sistem dapat dipantau dari jarak jauh

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT)?
2. Bagaimana menerapkan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi berdasarkan kondisi kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara untuk menentukan tingkat penyiraman?
3. Bagaimana hasil pengujian sistem dalam membaca sensor, menghasilkan keluaran fuzzy, mengendalikan durasi pompa, serta menampilkan data monitoring melalui aplikasi Blynk?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini disusun berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk merancang dan membangun sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT).
2. Untuk menerapkan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi berdasarkan kondisi kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara dalam menentukan tingkat penyiraman.
3. Untuk menganalisis hasil pengujian sistem dalam membaca sensor, menghasilkan keluaran fuzzy, mengendalikan durasi pompa, serta menampilkan data monitoring melalui aplikasi Blynk.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian diperlukan agar ruang lingkup penelitian menjadi lebih jelas dan terarah. Adapun batasan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada perancangan dan pengujian prototipe sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT).
2. Objek penelitian dibatasi pada tanaman jagung yang digunakan dalam penerapan sistem penyiraman otomatis.
3. Sistem menggunakan Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi sesuai dengan implementasi program yang digunakan.
4. Masukan sistem terdiri atas kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara.
5. Keluaran sistem berupa tingkat penyiraman OFF, LOW, MEDIUM, dan HIGH yang digunakan untuk menentukan durasi kerja pompa.
6. Komponen yang dibahas meliputi sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, ESP32, relay, pompa air, selang, sumber daya, kabel penghubung, dan wadah air.
7. Aplikasi Blynk digunakan sebagai media pemantauan nilai sensor, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian merupakan dampak yang diharapkan dari tercapainya tujuan penelitian. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

   Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pengetahuan pada bidang Internet of Things (IOT), sistem penyiraman tanaman

otomatis, monitoring berbasis Blynk, serta penerapan Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi menggunakan masukan kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan sistem pertanian berbasis IOT dan otomatisasi penyiraman tanaman.

2. Manfaat Praktis

   Penelitian ini diharapkan dapat membantu proses penyiraman tanaman jagung berdasarkan data sensor yang terbaca oleh sistem. Sistem juga dapat membantu pengguna memantau nilai kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, dan status pompa melalui aplikasi Blynk. Selain itu, sistem dapat menjadi salah satu alternatif prototipe teknologi sederhana untuk mendukung penyiraman tanaman jagung secara otomatis.

1.6 Relevansi Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan untuk memperkuat dasar penelitian yang dilakukan serta menunjukkan posisi penelitian yang akan dikembangkan. Melalui kajian terhadap penelitian terdahulu, dapat diketahui persamaan, perbedaan, dan kebaruan penelitian yang dirancang. Adapun penelitian terkait yang relevan dengan penelitian ini disajikan pada Tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1 Penelitian terkait

No	Judul	Objek Penelitian	Hasil Penelitian
1	Implementasi Teknologi Irigasi Tetes pada Tanaman Jagung Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Mikrokontroler ESP32	Tanaman jagung	Penelitian ini menghasilkan sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman jagung menggunakan sensor soil moisture dan mikrokontroler ESP32. Sistem dirancang untuk mendeteksi kelembapan tanah secara real-time dan mengaktifkan pompa air secara otomatis ketika

			kelembapan tanah berada di bawah batas yang ditentukan [10].
2	Otomatisasi Sistem Fertigasi Tetes untuk Tanaman Berbasis Mikrokontroler	Tanaman dengan sistem fertigasi tetes	Penelitian ini menghasilkan sistem fertigasi tetes otomatis yang dapat mengatur pemberian larutan berdasarkan kelembapan tanah dan waktu penyiraman, serta menunjukkan kinerja sistem yang berjalan dengan baik [8].
3	Penerapan Metode Fuzzy Logic dalam Sistem Pemantauan Tanaman Berbasis Internet of Things (IOT) dengan Arduino	Tanaman hidroponik	Penelitian ini menghasilkan sistem pemantauan tanaman berbasis IOT dengan metode fuzzy logic yang mampu mengidentifikasi kondisi pH dan suhu tanaman dengan tingkat akurasi yang baik [9].
4	Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis IOT dengan Logika Fuzzy Sugeno untuk Pengendalian Kelembapan Tanah di Greenhouse	Tanaman bayam di greenhouse	Sistem menggunakan sensor kelembapan tanah, DHT11, ESP8266, relay, dan Fuzzy Sugeno untuk menentukan durasi penyiraman[11].

Berdasarkan Tabel 1.1, penelitian terdahulu memiliki keterkaitan dengan penelitian ini dalam hal pemanfaatan Internet of Things (IOT), sensor, sistem monitoring, otomatisasi penyiraman, dan penerapan logika fuzzy. Penelitian terdahulu tersebut menjadi dasar pembanding dalam perancangan sistem penyiraman tanaman jagung yang dilakukan pada penelitian ini.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada objek tanaman, jumlah masukan sensor, metode pengambilan keputusan, dan bentuk sistem monitoring. Penelitian ini menggunakan tanaman jagung sebagai objek, dengan tiga masukan berupa kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Data tersebut diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi untuk menentukan tingkat penyiraman dan durasi kerja pompa. Sistem juga menggunakan ESP32 sebagai pengendali serta aplikasi Blynk untuk memantau data sensor, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa.

Dengan demikian, posisi penelitian ini adalah mengembangkan prototipe sistem penyiraman tanaman jagung berbasis IOT yang menggabungkan tiga masukan sensor, pengambilan keputusan menggunakan Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi, kendali pompa melalui relay, dan pemantauan melalui aplikasi Blynk. Penelitian ini dibatasi pada pengujian fungsi sistem dan keluaran berdasarkan data sensor yang tersedia.

1.7 Sistematika Penulisan

Penyajian penelitian ini dibagi dalam beberapa bab dengan tujuan untuk menunjukkan penyelesaian masalah secara sistematis. Pembagian bab dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bab I: Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, relevansi penelitian terdahulu, dan sistematika penulisan.

Bab II: Landasan Teoretis

Bab ini membahas teori yang mendukung penelitian, meliputi smart farming, Internet of Things (IoT), sistem penyiraman tanaman otomatis, sensor dan komponen sistem, ESP32, aplikasi Blynk, serta konsep umum Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi.

Bab III: Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan jenis penelitian, objek penelitian, sumber data, perangkat keras dan perangkat lunak, teknik pengumpulan serta analisis data, perancangan sistem, dan perancangan Fuzzy Sugeno. Perancangan Fuzzy Sugeno meliputi fungsi keanggotaan, basis 27 aturan, operator MIN, agregasi MAX, nilai singleton, rata-rata berbobot, pemetaan durasi pompa, serta contoh perhitungan manual.Bab

IV: Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem, hasil pembacaan sensor, hasil perhitungan fuzzy, pengendalian durasi pompa, tampilan monitoring Blynk, serta pembahasan kinerja sistem berdasarkan data pengujian.

Bab V: Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan hasil penelitian dan saran untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORETIS

2.1 Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Jagung Otomatis Berbasis IOT

2.1.1 Smart Farming

Smart farming merupakan konsep pertanian modern yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan ketepatan dalam pengelolaan budidaya. Menurut Pathmudi dkk. [12], perkembangan pertanian cerdas ditandai dengan adanya integrasi Internet of Things (IOT), sensor, pengendali, serta protokol komunikasi dalam kegiatan pertanian. Melalui penerapan teknologi tersebut, proses pengelolaan lahan tidak hanya bergantung pada pengalaman manusia, tetapi juga dapat didukung oleh data yang diperoleh secara langsung dari kondisi lapangan.

Sebagaimana dijelaskan oleh Morchid dkk. [13], smart farming tidak hanya berkaitan dengan penggunaan alat elektronik di bidang pertanian, tetapi juga mencakup integrasi berbagai komponen dalam arsitektur IOT pertanian. Komponen tersebut meliputi sensor dan aktuator untuk membaca kondisi lingkungan serta menjalankan tindakan kendali, jaringan untuk pengiriman data, cloud untuk penyimpanan dan pemrosesan data, serta aplikasi untuk menampilkan informasi kepada pengguna. Dengan demikian, smart farming dapat membantu proses pengambilan keputusan dalam kegiatan pertanian, seperti monitoring, irigasi, pemupukan, dan pengendalian kondisi lingkungan tanaman secara lebih terukur.

Penerapan smart farming telah banyak digunakan dalam berbagai kegiatan pertanian modern. Supiyandi dkk. [14] menjelaskan bahwa sistem monitoring real-time dan irigasi cerdas dapat mendukung pengelolaan pertanian secara lebih efektif, sedangkan Tinaprilla dkk. [15] menunjukkan bahwa teknologi smart fertigation dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dalam budidaya tanaman. Dalam penelitian ini, konsep smart farming digunakan sebagai landasan pendukung karena sistem yang dirancang menerapkan IOT, sensor, aktuator, dan monitoring Blynk untuk membantu proses penyiraman tanaman jagung secara otomatis menggunakan metode Fuzzy Sugeno.

2.1.2 Internet of Things (IOT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, mengirimkan, dan mengolah data secara otomatis. Dalam bidang pertanian, IoT dapat digunakan bersama sensor untuk memantau kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah secara real-time. Rajak dkk. [16] menjelaskan bahwa integrasi IoT dan sensor cerdas dapat membantu pemantauan kondisi pertanian serta mendukung pengambilan keputusan berdasarkan data yang diperoleh.

Penerapan IOT pada sektor pertanian telah banyak digunakan untuk mendukung sistem monitoring dan kontrol tanaman. Putri dkk. [17] menjelaskan bahwa sistem monitoring dan kontrol berbasis IOT pada budidaya aeroponik dapat memantau kondisi lingkungan tanaman melalui aplikasi Blynk dan mengendalikan kerja pompa secara otomatis. Selain itu, Siskandar dkk. [18] menunjukkan bahwa sistem

greenhouse berbasis IOT mampu menggabungkan pemantauan dan pengendalian dalam satu platform terpadu, sehingga pengguna dapat melakukan kontrol sistem secara lebih praktis. Sejalan dengan itu, Merdekawan dan Sari [19] menjelaskan bahwa sistem indoor farming berbasis IOT mampu memantau parameter lingkungan dan menampilkan perubahan nilai sensor secara digital.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa IOT merupakan teknologi yang menghubungkan sensor, mikrokontroler, jaringan, aktuator, dan aplikasi monitoring dalam satu sistem terintegrasi. Dalam penelitian ini, IOT digunakan untuk membaca kondisi kelembapan tanah, suhu, dan udara lingkungan pada tanaman jagung melalui sensor. Data tersebut kemudian diproses oleh ESP32 sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman menggunakan metode Fuzzy Sugeno. Selain itu, aplikasi Blynk digunakan sebagai media monitoring untuk menampilkan nilai sensor dan status kerja pompa secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau sistem penyiraman tanaman jagung dengan lebih mudah.

2.1.3 Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

Sistem penyiraman tanaman otomatis merupakan sistem yang dirancang untuk memberikan air kepada tanaman secara terkendali berdasarkan kondisi tertentu tanpa bergantung sepenuhnya pada campur tangan manusia. Dalam budidaya tanaman jagung, sistem ini diperlukan agar kebutuhan air dapat diberikan secara lebih tepat sesuai kondisi kelembapan tanah dan lingkungan. Menurut Obaideen dkk. [20], sistem irigasi cerdas atau smart irrigation menjadi bagian penting dalam pertanian modern karena mampu mendukung efisiensi penggunaan air melalui pemantauan kondisi tanah dan cuaca secara lebih terukur. Dengan demikian, penyiraman

otomatis dapat membantu proses pemberian air menjadi lebih efektif, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Dalam penerapannya, sistem penyiraman tanaman otomatis bekerja dengan memanfaatkan sensor untuk membaca kondisi media tanam dan lingkungan. Data dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler sebagai dasar pengendalian aktuator, seperti relay dan pompa air. Sandy dkk. menjelaskan bahwa sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi tanah, menjalankan penyiraman, serta melakukan monitoring tanaman secara otomatis menggunakan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk [21]. Selain itu, Sugandi dan Armentaria menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis dapat memanfaatkan parameter suhu dan kelembapan tanah sebagai dasar kendali, sehingga proses pemberian air dapat disesuaikan dengan kondisi aktual lingkungan tanaman [22].

Lebih lanjut, Syafriyandi dkk. [23] menjelaskan bahwa sistem irigasi otomatis dapat memberikan air langsung ke area perakaran tanaman dan berhenti ketika kebutuhan air telah tercukupi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis tidak hanya membantu mengurangi pekerjaan manual, tetapi juga berperan dalam meningkatkan efisiensi air dan ketepatan distribusi air bagi tanaman. Dalam penelitian ini, sistem penyiraman tanaman otomatis menjadi bagian inti dari rancangan alat, karena sistem menggunakan sensor, ESP32, relay, pompa air, dan selang untuk menyalurkan air sesuai keputusan penyiraman yang dihasilkan berdasarkan data sensor.

2.1.4 Sensor dan Komponen Pendukung Sistem

Sensor dan komponen pendukung sistem merupakan bagian penting dalam perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis, karena seluruh proses kerja sistem bergantung pada keterhubungan setiap komponen. Pada sistem ini, sensor berfungsi sebagai masukan untuk membaca kondisi tanah dan lingkungan, sedangkan mikrokontroler berperan sebagai pusat pengolahan data dan pengendali sistem. Komponen yang digunakan dalam sistem ini meliputi sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, ESP32, breadboard, relay, pompa air dan selang, power supply, kabel jumper, serta aplikasi Blynk. Sensor digunakan untuk memperoleh data kelembapan tanah, suhu, dan udara lingkungan, kemudian data tersebut diproses oleh ESP32 untuk menentukan keputusan penyiraman. Relay berfungsi sebagai saklar otomatis yang mengatur kerja pompa air, sedangkan pompa air dan selang digunakan untuk menyalurkan air menuju media tanam.

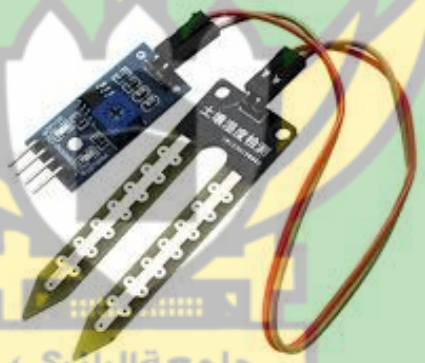
Selain komponen perangkat keras, aplikasi Blynk digunakan sebagai media monitoring berbasis IOT. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat memantau nilai sensor dan status kerja pompa secara real-time. Dengan keterpaduan antara sensor, mikrokontroler, aktuator, sistem distribusi air, dan monitoring Blynk, sistem penyiraman tanaman jagung dapat bekerja secara lebih otomatis, terukur, dan mudah dipantau.

2.1.4.1 Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture Sensor)

Sensor kelembapan tanah merupakan perangkat yang digunakan untuk membaca kadar air pada media tanam. Pada penelitian ini, sensor kelembapan tanah digunakan untuk menghasilkan data analog yang berubah sesuai dengan kondisi kadar air tanah. Nilai pembacaan sensor kemudian dikonversi menjadi nilai

persentase kelembapan berdasarkan kalibrasi yang diterapkan pada program ESP32. Pembahasan mengenai proses kalibrasi dijelaskan lebih lanjut pada bagian metodologi penelitian.

Dalam sistem penyiraman tanaman jagung, sensor kelembapan tanah berfungsi sebagai salah satu masukan utama dalam proses pengambilan keputusan fuzzy. Sensor ini digunakan untuk mengidentifikasi kondisi media tanam, seperti kering, lembap, atau basah. Data kelembapan tanah dikirimkan ke ESP32 melalui pin analog untuk diproses bersama data suhu dan kelembapan udara dari sensor DHT11. Hasil pengolahan ketiga masukan tersebut digunakan untuk menentukan tingkat penyiraman dan durasi kerja pompa.



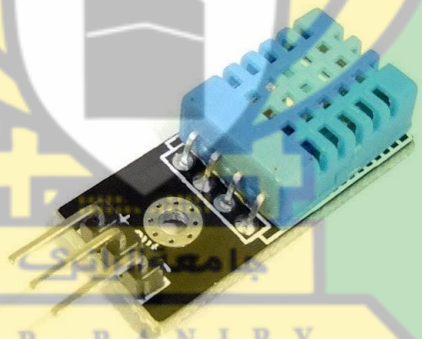
Gambar 2.1 Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture Sensor)

Sensor kelembapan tanah memiliki bagian pendeteksi yang ditempatkan pada media tanam dan bagian keluaran sinyal yang dihubungkan ke ESP32. Saat kondisi media tanam berubah, nilai keluaran sensor juga mengalami perubahan. Data tersebut selanjutnya digunakan oleh sistem sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi

2.1.4.2 Sensor Suhu dan Kelembapan Udara (DHT11)

Sensor DHT11 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman. Sensor ini mengirimkan data hasil pembacaan kepada mikrokontroler melalui satu jalur data. Dalam sistem penyiraman tanaman jagung, DHT11 digunakan untuk memperoleh dua parameter lingkungan, yaitu suhu dan kelembapan udara.

Data suhu dan kelembapan udara dari DHT11 dikirimkan ke ESP32 untuk diproses bersama data kelembapan tanah. Ketiga parameter tersebut digunakan sebagai masukan dalam metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Suhu digunakan untuk menggambarkan kondisi lingkungan di sekitar tanaman, sedangkan kelembapan udara digunakan sebagai informasi tambahan dalam menentukan tingkat penyiraman dan durasi kerja pompa.



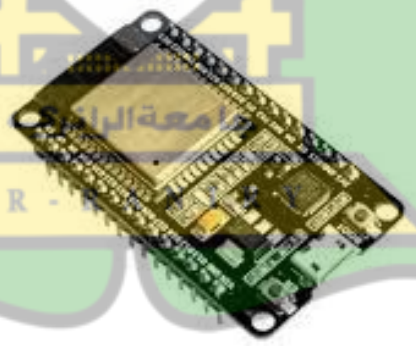
Gambar 2.2 Sensor Suhu dan Kelembapan DHT11

Gambar tersebut memperlihatkan bentuk fisik sensor DHT11 yang digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan udara. Sensor ini memiliki pin catu daya, data, dan ground yang dihubungkan ke ESP32 sesuai dengan rangkaian sistem.

2.1.4.3 Mikrokontroler (ESP32)

Mikrokontroler merupakan pusat kendali dalam sistem penyiraman otomatis. Komponen ini bertugas membaca data dari sensor, memproses data tersebut, menjalankan logika sistem, serta mengirimkan perintah ke aktuator. Dalam penelitian ini, mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 karena telah dilengkapi fitur WiFi sehingga mendukung penerapan sistem berbasis Internet of Things (IOT) dan pengiriman data secara real-time.

Pada sistem penyiraman tanaman jagung otomatis, ESP32 berfungsi untuk menerima data dari sensor kelembapan tanah dan sensor DHT11. Data tersebut kemudian diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno untuk menentukan keputusan penyiraman. Selanjutnya, ESP32 memberikan perintah ke relay untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air. Selain itu, ESP32 juga digunakan untuk mengirimkan data sensor dan status pompa ke aplikasi Blynk agar sistem dapat dipantau secara real-time.



Gambar 2.3 Mikrokontroler ESP32

Gambar ini menunjukkan papan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Pada papan ini terdapat pin input-output, modul WiFi, dan

port koneksi yang digunakan untuk menghubungkan sensor, relay, pompa air, dan aplikasi monitoring Blynk.

2.1.4.4 Breadboard dan Kabel Jumper

Breadboard merupakan komponen pendukung yang digunakan sebagai media perakitan rangkaian elektronik sementara tanpa perlu melakukan penyolderan. Komponen ini memudahkan proses penyusunan dan pengujian rangkaian pada tahap pembuatan prototipe. Dalam sistem penyiraman tanaman otomatis, breadboard digunakan untuk membantu menghubungkan ESP32 dengan beberapa komponen lain seperti sensor, relay, dan sumber daya.

Kabel jumper merupakan kabel penghubung yang digunakan untuk menyambungkan antar komponen pada rangkaian elektronik. Kabel jumper berfungsi menghubungkan pin ESP32 dengan sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, relay, dan komponen pendukung lainnya. Dengan adanya breadboard dan kabel jumper, proses perakitan rangkaian menjadi lebih mudah, fleksibel, dan dapat diperbaiki apabila terjadi kesalahan sambungan.

Gambar 2.4 Breadboard dan Kabel Jumper

Gambar ini menunjukkan breadboard dan kabel jumper yang digunakan sebagai media penghubung antar komponen pada rangkaian sistem. Breadboard berfungsi sebagai tempat penyusunan rangkaian sementara, sedangkan kabel jumper digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan sensor, relay, dan komponen lain sesuai rancangan sistem.

2.1.4.5 Relay

Relay adalah komponen elektronika yang berfungsi sebagai saklar otomatis yang dikendalikan oleh sinyal listrik dari mikrokontroler. Relay digunakan karena mikrokontroler umumnya hanya menghasilkan tegangan kecil, sehingga diperlukan komponen perantara untuk mengendalikan perangkat dengan kebutuhan daya lebih besar, seperti pompa air. Pada sistem penyiraman otomatis, relay menerima sinyal dari mikrokontroler untuk menghubungkan atau memutus aliran listrik ke pompa air. Dengan demikian, relay memungkinkan pompa bekerja secara otomatis sesuai keputusan sistem. Penggunaan relay juga membantu menjaga keamanan rangkaian karena memisahkan beban aktuator dari jalur utama mikrokontroler.

Gambar 2.5 Modul Relay

2.1.4.6 Pompa Air dan Selang

Pompa air merupakan aktuator utama dalam sistem penyiraman tanaman otomatis yang berfungsi untuk mengalirkan air dari wadah penampungan menuju media tanam. Pompa bekerja ketika menerima perintah dari ESP32 melalui relay. Pada saat sistem mendeteksi bahwa tanaman membutuhkan penyiraman, relay akan mengaktifkan pompa air sehingga air dapat dialirkan ke tanaman.

Selang berfungsi sebagai saluran distribusi air dari pompa menuju media tanam. Penggunaan selang bertujuan agar air yang dikeluarkan oleh pompa dapat diarahkan secara lebih tepat, merata, dan efisien. Dalam penelitian ini, pompa air dan selang digunakan sebagai bagian output sistem yang merealisasikan keputusan penyiraman berdasarkan hasil pembacaan sensor dan proses Fuzzy Sugeno.

Gambar 2.6 Pompa Air dan Selang

2.1.4.7 Power Supply

Power supply merupakan komponen yang berfungsi sebagai sumber catu daya untuk seluruh rangkaian sistem. Komponen ini menyediakan energi listrik yang dibutuhkan oleh mikrokontroler, sensor, relay, dan pompa air agar dapat bekerja dengan baik. Dalam sistem penyiraman tanaman otomatis, kestabilan tegangan dari power supply sangat penting karena memengaruhi kinerja pembacaan sensor, proses pengendalian, dan kerja aktuator. Oleh karena itu, pemilihan power supply

harus disesuaikan dengan kebutuhan tegangan dan arus dari setiap komponen yang digunakan.

Gambar 2.7 Power Supply / Adaptor DC

Gambar ini menunjukkan power supply atau adaptor DC yang digunakan sebagai sumber tegangan untuk menghidupkan rangkaian sistem. Power supply berfungsi menyalurkan daya listrik ke mikrokontroler dan komponen lain sesuai kebutuhan kerja alat.

2.1.4.8 Aplikasi Blynk

Aplikasi Blynk merupakan platform Internet of Things (IOT) yang digunakan untuk menghubungkan, memantau, dan menampilkan data dari perangkat mikrokontroler melalui jaringan internet. Blynk dapat dihubungkan dengan ESP32 sehingga data yang diperoleh dari sensor dapat dikirimkan dan ditampilkan pada dashboard aplikasi. Dalam sistem penyiraman tanaman jagung, Blynk digunakan sebagai media pemantauan jarak jauh.

Pada penelitian ini, aplikasi Blynk digunakan untuk menampilkan nilai kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, nilai keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa. Data tersebut dikirimkan oleh ESP32 setelah proses pembacaan dan pengolahan data sensor. Dashboard Blynk juga digunakan untuk menampilkan mode otomatis serta menyediakan pengendalian pompa secara manual sesuai fungsi yang telah diprogram.

Gambar 2.8 Aplikasi Blynk

Gambar tersebut menunjukkan tampilan dashboard Blynk yang digunakan pada sistem penyiraman tanaman jagung. Melalui dashboard tersebut, pengguna dapat memantau kondisi sensor, hasil keputusan Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi, tingkat penyiraman, dan status pompa secara berkala.

2.2 Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

2.2.1 Logika Fuzzy Sugeno

Logika fuzzy merupakan metode pengambilan keputusan untuk mengolah kondisi yang nilainya berubah secara bertahap. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal benar atau salah, logika fuzzy menggunakan derajat keanggotaan untuk menunjukkan tingkat keterkaitan suatu nilai terhadap kondisi tertentu. Pendekatan ini sesuai untuk sistem kendali karena perubahan kondisi sensor tidak selalu terjadi secara tegas.

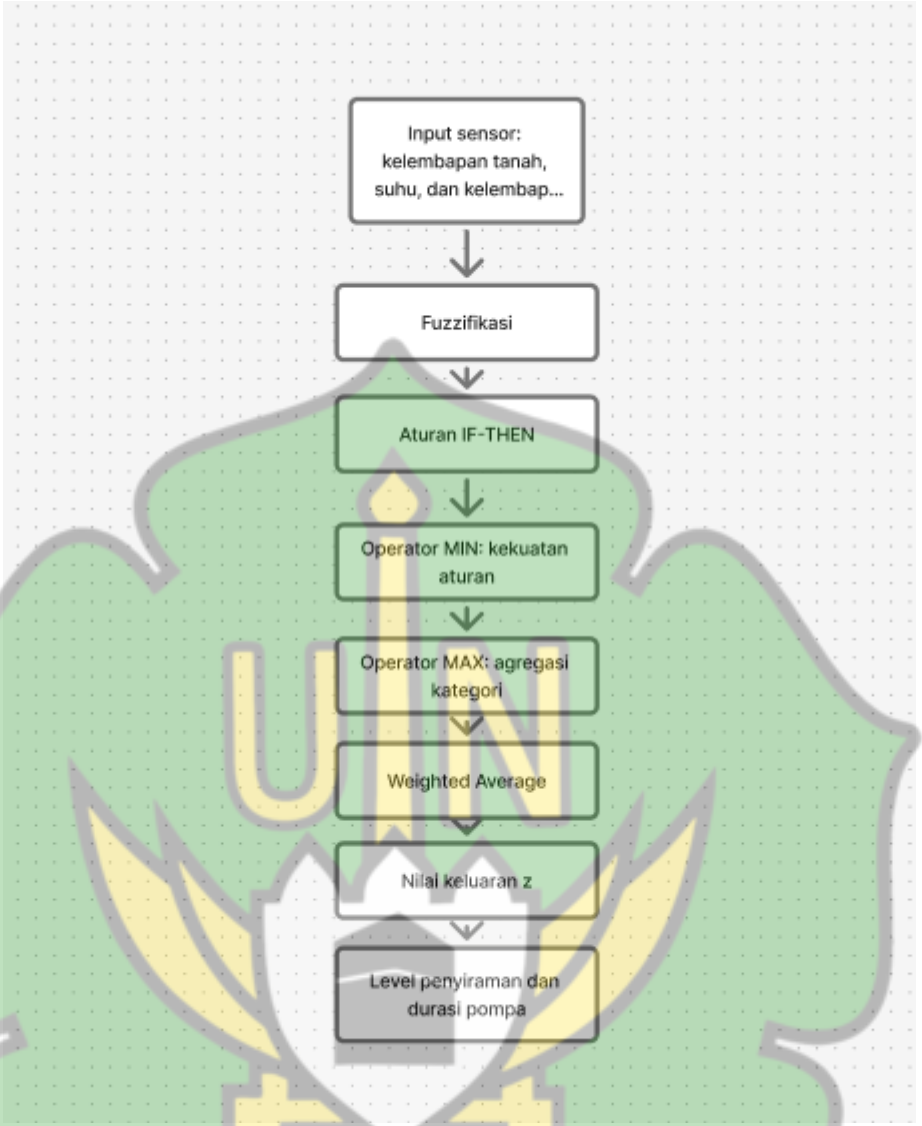
Fuzzy Sugeno merupakan salah satu metode inferensi fuzzy yang menggunakan aturan berbentuk IF-THEN. Bagian IF menyatakan kondisi variabel masukan, sedangkan bagian THEN menyatakan keluaran berupa konstanta atau persamaan matematis. Pada Fuzzy Sugeno orde nol, keluaran setiap aturan berupa nilai konstan yang disebut singleton. Penerapan logika fuzzy Takagi-Sugeno pada sistem irigasi berbasis IoT telah dilakukan oleh Suryatini dkk. [24].

Bentuk umum aturan Fuzzy Sugeno pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

IF kelembapan tanah is A AND suhu is B AND kelembapan udara is C THEN keluaran is z.

A, B, dan C merupakan himpunan fuzzy dari variabel masukan, sedangkan z merupakan nilai keluaran konstan. Nilai singleton yang digunakan pada sistem adalah 15 untuk OFF, 40 untuk LOW, 65 untuk MEDIUM, dan 90 untuk HIGH.

Secara umum, proses Fuzzy Sugeno dimulai dari pembacaan nilai kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Nilai sensor tersebut diubah menjadi derajat keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Selanjutnya, sistem mengevaluasi aturan IF-THEN menggunakan operator MIN, menggabungkan aturan dengan kategori keluaran yang sama menggunakan operator MAX, lalu menghitung nilai keluaran melalui rata-rata berbobot. Nilai keluaran tersebut digunakan untuk menentukan level penyiraman dan durasi kerja pompa.



Gambar 2.9 Konsep Proses Fuzzy Sugeno pada Sistem Penyiraman

Pada tahap fuzzifikasi, nilai masukan sensor diubah menjadi derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan fuzzy. Kekuatan setiap aturan atau α-predikat kemudian dihitung menggunakan operator MIN. Untuk aturan yang memiliki lebih dari satu kondisi, nilai kekuatan aturan ditentukan oleh derajat keanggotaan terkecil dari kondisi yang terlibat.

Apabila terdapat beberapa aturan dengan kategori keluaran yang sama, nilai kekuatan aturan tersebut digabungkan menggunakan operator MAX. Proses ini

menghasilkan nilai kekuatan terbesar untuk setiap kategori keluaran, yaitu OFF, LOW, MEDIUM, dan HIGH. Penggunaan operator MAX pada penelitian ini merupakan bagian dari modifikasi mekanisme inferensi yang diterapkan sesuai program pada ESP32. Pendekatan MIN-MAX dan rata-rata berbobot juga digunakan pada sistem irigasi berbasis IoT oleh Suryatini dkk. [23].

Nilai hasil agregasi digunakan sebagai bobot dalam perhitungan rata-rata berbobot terhadap nilai singleton. Persamaan yang digunakan adalah:

$$z = \frac{\sum (\alpha_i \times z_i)}{\sum \alpha_i}$$

Keterangan: z adalah nilai keluaran fuzzy, α_i adalah bobot hasil agregasi MAX pada kategori keluaran ke-i, dan z_i adalah nilai singleton dari kategori tersebut. Nilai z selanjutnya digunakan untuk menentukan level penyiraman dan durasi kerja pompa sesuai dengan program yang diterapkan pada ESP32.

2.2.2 Parameter Penelitian

Parameter penelitian adalah data yang digunakan untuk mengamati kondisi objek, melakukan pengukuran, dan menentukan keputusan sistem. Pada penelitian ini, parameter dipilih berdasarkan kondisi media tanam dan lingkungan yang dapat memengaruhi kebutuhan penyiraman tanaman. Sistem menggunakan tiga parameter utama, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Kelembapan tanah digunakan untuk menunjukkan kondisi kadar air pada media tanam. Suhu digunakan untuk menggambarkan kondisi panas atau dingin di sekitar tanaman, sedangkan kelembapan udara digunakan sebagai informasi tambahan mengenai kondisi

lingkungan. Ketiga parameter tersebut diperoleh dari sensor dan digunakan sebagai masukan dalam proses pengambilan keputusan menggunakan metode Fuzzy Sugeno.

Obaideen dkk. [20] menjelaskan bahwa sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IOT) dapat memanfaatkan data sensor, seperti kelembapan tanah, suhu, dan udara, untuk membantu menentukan kebutuhan air tanaman. Putri dkk. [17] juga menjelaskan bahwa pemantauan kondisi lingkungan menggunakan sensor dapat mendukung proses pengambilan keputusan secara otomatis. Berdasarkan hal tersebut, ketiga parameter dalam penelitian ini digunakan untuk memberikan gambaran kondisi media tanam dan lingkungan sebelum sistem menentukan tingkat penyiraman.

2.2.2.1 Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah merupakan parameter utama dalam penelitian ini karena berhubungan langsung dengan ketersediaan air pada media tanam. Kondisi kelembapan tanah dapat menunjukkan apakah tanah berada dalam keadaan kering, cukup lembap, atau basah, sehingga dapat dijadikan acuan dalam menentukan kebutuhan penyiraman. Obaideen dkk. [20] menjelaskan bahwa kelembapan tanah merupakan salah satu parameter penting dalam sistem irigasi cerdas karena berkaitan langsung dengan kebutuhan air tanaman dan efisiensi penggunaan air. Sejalan dengan itu, Dong dkk. [4] menyatakan bahwa pemantauan kelembapan tanah secara real-time melalui sensor dapat membantu meningkatkan akurasi pengambilan keputusan penyiraman.

2.2.2.2 Suhu Lingkungan

Suhu lingkungan merupakan parameter pendukung yang digunakan untuk mengetahui kondisi udara di sekitar tanaman. Parameter ini penting karena suhu berhubungan dengan kondisi iklim mikro tanaman dan dapat memengaruhi keseimbangan lingkungan tumbuh. Thoriq dkk. menjelaskan bahwa suhu dan kelembapan merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman serta merancang sistem monitoring berbasis Internet of Things menggunakan sensor DHT11, DS18B20, dan sensor kelembapan tanah untuk memantau kondisi suhu serta kelembapan secara terukur. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu membaca suhu udara dengan akurasi 98,3% dan kelembapan udara 96,88%, sehingga parameter suhu layak digunakan sebagai data pendukung dalam sistem pemantauan tanaman [24].

2.2.2.3 Kelembapan Udara

Kelembapan udara merupakan jumlah uap air yang terdapat di sekitar tanaman dan umumnya dinyatakan dalam satuan persentase kelembapan relatif (%RH). Parameter ini digunakan untuk menggambarkan kondisi lingkungan yang dapat berubah selama sistem beroperasi. Pada penelitian ini, kelembapan udara diperoleh dari sensor DHT11. Sensor tersebut juga menghasilkan data suhu, sehingga satu sensor digunakan untuk memperoleh dua parameter lingkungan. Nilai kelembapan udara dikirimkan ke ESP32 dan diproses bersama data kelembapan tanah serta suhu sebagai salah satu dari tiga input fuzzy pada metode Fuzzy Sugeno.

Dalam proses fuzzy, kelembapan udara dibagi menjadi tiga kondisi, yaitu rendah, normal, dan tinggi. Data tersebut digunakan sebagai informasi tambahan

agar keputusan penyiraman tidak hanya mempertimbangkan kondisi media tanam, tetapi juga keadaan lingkungan di sekitar tanaman [17].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian rancang bangun dengan fokus pada pengujian prototipe sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT). Sistem menggunakan sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, ESP32, relay, pompa air, selang, dan aplikasi Blynk sebagai media pemantauan. Data dari kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi.

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif. Data penelitian berupa nilai kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, status pompa, dan durasi kerja pompa. Data tersebut digunakan untuk menggambarkan kemampuan sistem dalam membaca kondisi lingkungan, menghasilkan keputusan penyiraman, mengendalikan pompa, serta menampilkan informasi melalui aplikasi Blynk.

3.2 Subjek Penelitian dan Sumber Data

Subjek penelitian ini adalah prototipe sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT) yang menggunakan ESP32, sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, relay, pompa air, dan aplikasi Blynk. Sistem tersebut mengolah data kelembapan tanah, suhu, serta kelembapan udara menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi untuk menentukan tingkat penyiraman.

Objek yang diamati meliputi hasil pembacaan ketiga parameter sensor, nilai keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, status pompa, durasi kerja pompa, serta informasi yang ditampilkan pada aplikasi Blynk secara berkala.

Sumber data terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari program ESP32, hasil pembacaan Serial Monitor, tampilan aplikasi Blynk, dan dokumentasi pengujian sistem yang tersedia. Data sekunder diperoleh dari jurnal, buku, dokumentasi teknis komponen, dan sumber ilmiah yang berkaitan dengan IOT, sistem penyiraman otomatis, sensor, Fuzzy Sugeno, ESP32, dan Blynk. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam menjelaskan rancangan serta menganalisis hasil pengujian sistem.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, pengujian sistem, dokumentasi, dan studi pustaka. Keempat teknik tersebut digunakan untuk memperoleh data yang berkaitan dengan kinerja prototipe penyiraman tanaman jagung berbasis IOT.

1. Observasi

   Observasi dilakukan dengan mengamati kerja sistem, kondisi media tanam, pembacaan sensor, serta respons pompa terhadap keputusan penyiraman.

2. Pengujian Sistem

   Pengujian dilakukan dengan mengamati data kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi, tingkat penyiraman, status relay, durasi pompa, dan tampilan data pada aplikasi Blynk.

3. Dokumentasi

Dokumentasi berupa program ESP32, hasil Serial Monitor, tangkapan layar Blynk, foto prototipe, serta tabel hasil pengujian. Data tersebut digunakan sebagai bukti pendukung dalam pembahasan sistem.

4. Studi Pustaka

   Studi pustaka dilakukan melalui jurnal, buku, dokumentasi komponen, dan sumber ilmiah yang berkaitan dengan IOT, sensor, ESP32, Fuzzy Sugeno, sistem penyiraman otomatis, pompa air, dan Blynk.

3.4 Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Data yang dianalisis meliputi kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, status relay, durasi pompa, dan tampilan pada aplikasi Blynk.

Data dari ketiga sensor diproses menggunakan Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Tahap analisis meliputi fuzzifikasi, penentuan kekuatan aturan menggunakan operator MIN, penggabungan keluaran berdasarkan kategori menggunakan MAX, serta perhitungan nilai keluaran dengan rata-rata berbobot menggunakan nilai singleton. Hasilnya kemudian diklasifikasikan menjadi OFF, LOW, MEDIUM, atau HIGH untuk menentukan durasi kerja pompa.

Selanjutnya, hasil keputusan dibandingkan dengan status relay, kondisi pompa, dan data yang ditampilkan pada Blynk. Analisis ini digunakan untuk melihat kesesuaian antara nilai sensor, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, status pompa, dan durasi kerja sistem.

3.5 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas perangkat keras, perangkat lunak, dan data pengujian yang digunakan untuk mengamati kinerja sistem penyiraman tanaman jagung.

3.5.1 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan meliputi:

1. ESP32 sebagai pengendali utama;
2. sensor kelembapan tanah sebagai pembaca kondisi media tanam
3. sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan udara;
4. modul relay sebagai pengendali pompa;
5. pompa air dan selang sebagai bagian penyiraman;
6. sumber daya, kabel penghubung, dan wadah air;
7. tanaman serta media tanam jagung sebagai objek penerapan sistem.

3.5.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk membaca dan menjalankan program ESP32, program dengan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi, Serial Monitor untuk melihat hasil pembacaan dan keputusan sistem, serta aplikasi Blynk untuk menampilkan data sensor, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa.

3.5.3 Data Pengujian

Data pengujian berupa nilai ADC dan persentase kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, nilai keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, status relay dan pompa, durasi penyiraman, serta tampilan data pada aplikasi Blynk. Data tersebut diperoleh

dari hasil Serial Monitor, tangkapan layar Blynk, dan dokumentasi pengujian yang tersedia.

3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan rencana yang menjelaskan tahapan pelaksanaan penelitian dari awal sampai akhir. Dalam penelitian ini, rancangan penelitian disusun untuk memandu proses perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT) menggunakan metode Fuzzy Sugeno. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi pustaka, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, pembuatan dan perakitan alat, pemrograman sistem, pengujian sistem, analisis hasil pengujian, perbaikan sistem, serta penarikan kesimpulan.

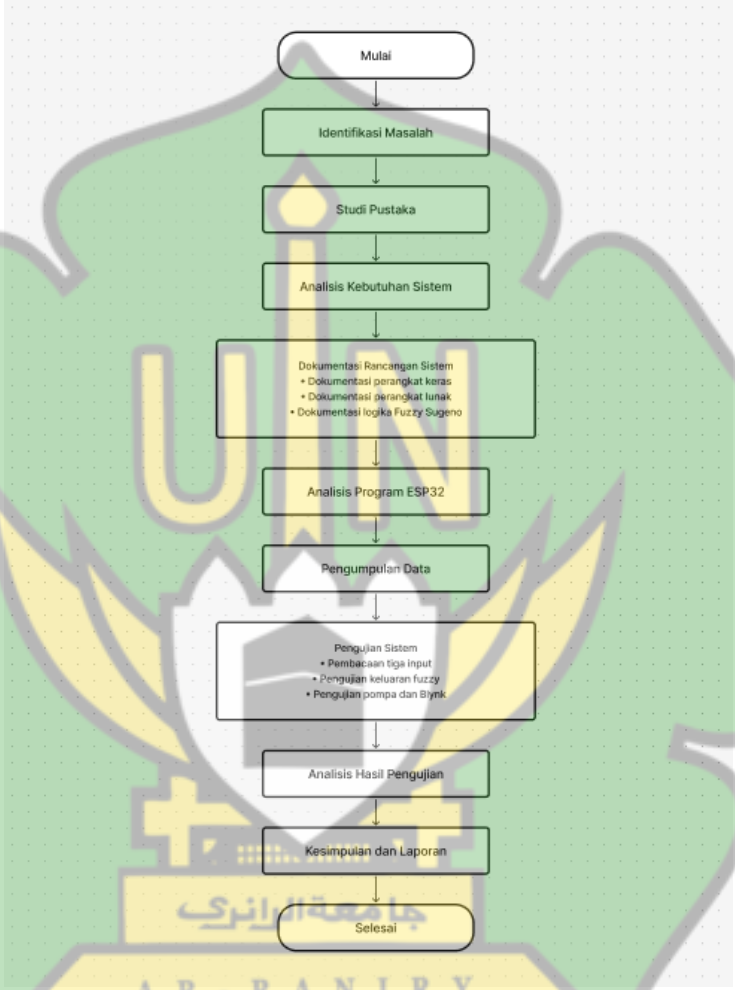
Melalui rancangan penelitian ini, setiap tahapan dapat dilakukan secara sistematis dan terarah. Dengan demikian, sistem yang dirancang diharapkan mampu membaca kondisi media tanam, memproses data sensor, mengendalikan penyiraman secara otomatis, serta menampilkan data monitoring melalui aplikasi Blynk.

3.6.1 Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan identifikasi masalah pada proses penyiraman tanaman jagung. Selanjutnya dilakukan studi pustaka mengenai Internet of Things, sensor, ESP32, sistem penyiraman otomatis, metode Fuzzy Sugeno, dan aplikasi Blynk. Tahap berikutnya adalah analisis kebutuhan serta dokumentasi rancangan sistem. Setelah itu dilakukan penelaahan program ESP32 untuk memahami proses pembacaan tiga input, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Data yang tersedia kemudian dikumpulkan melalui Serial Monitor, aplikasi Blynk, dan dokumentasi pengujian.

جامعة الرانري
AR-RANIRY

Tahap selanjutnya adalah pengujian sistem berdasarkan keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, status pompa, dan durasi kerja pompa. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengetahui kesesuaian kerja sistem. Tahap akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan dan laporan.

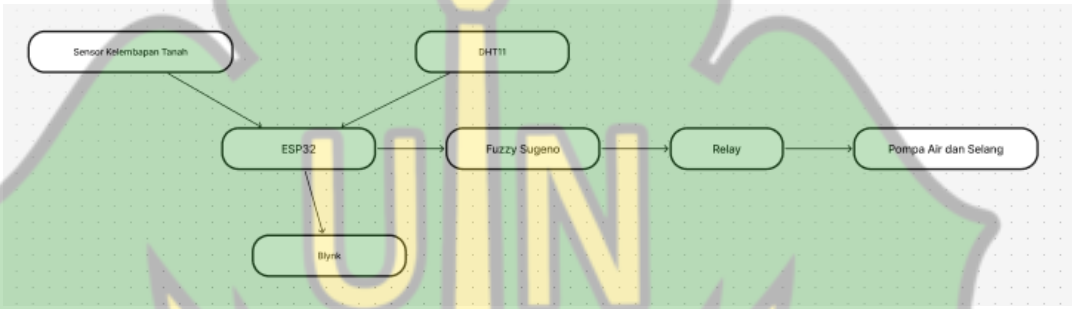


Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.6.2 Perancangan Sistem

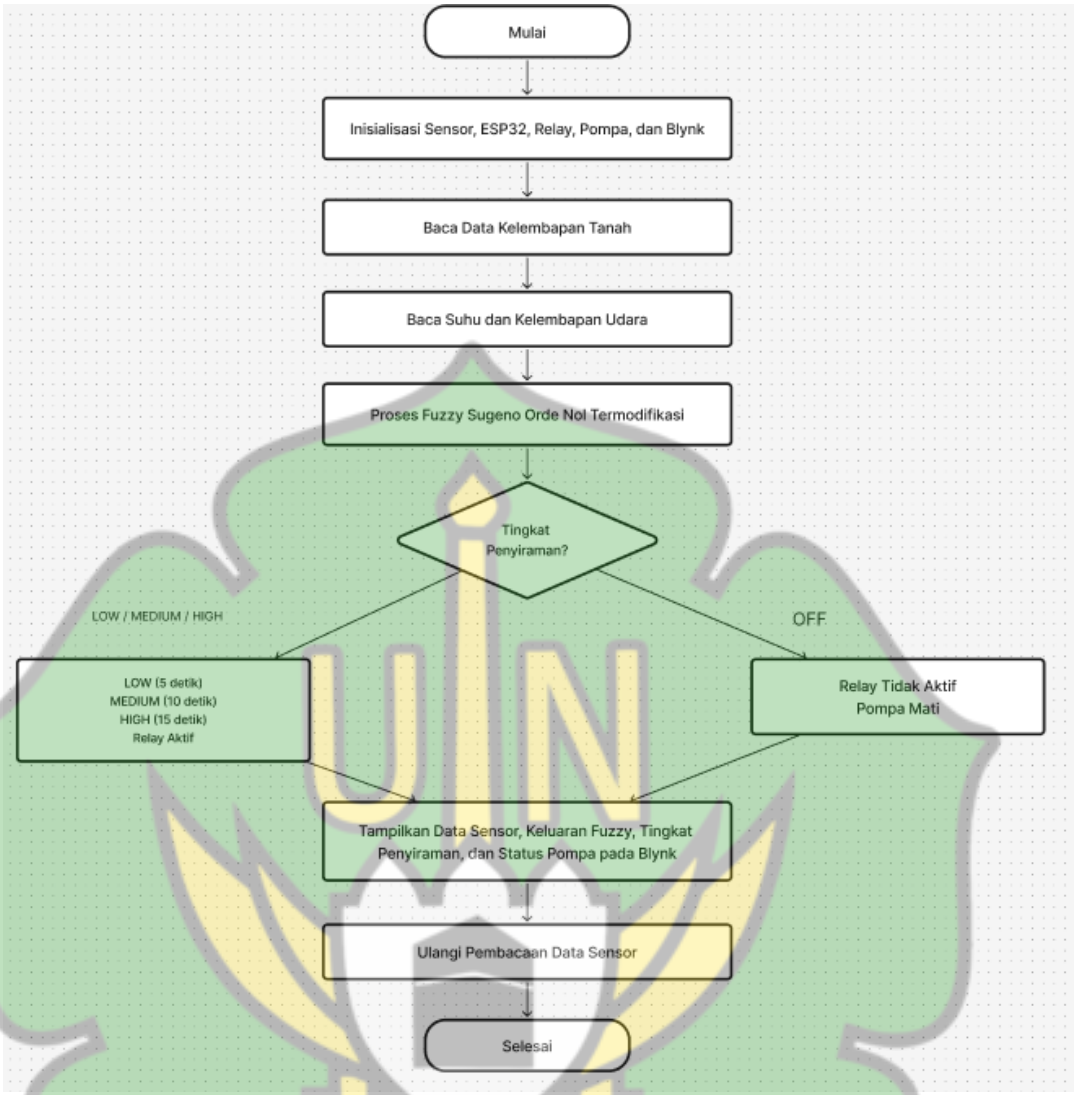
Perancangan sistem digunakan untuk menggambarkan hubungan antara input, proses, output, dan monitoring pada sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT). Input sistem terdiri atas kelembapan tanah serta suhu dan kelembapan udara yang diperoleh dari sensor DHT11.

Data sensor dikirimkan ke ESP32 dan diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Nilai keluaran fuzzy digunakan untuk menentukan tingkat penyiraman OFF, LOW, MEDIUM, atau HIGH serta durasi kerja pompa. ESP32 selanjutnya mengendalikan relay sebagai saklar pompa air. Air dialirkan melalui selang menuju media tanam sesuai keputusan sistem. Aplikasi Blynk digunakan untuk menampilkan nilai kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa secara berkala.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem.

Diagram blok menunjukkan sensor sebagai input, ESP32 sebagai pusat pemrosesan, Fuzzy Sugeno sebagai metode pengambilan keputusan, relay dan pompa sebagai bagian output, serta Blynk sebagai media monitoring.



Gambar 3.3 Flowchart Sistem Penyiraman Otomatis.

Flowchart menunjukkan proses mulai dari inisialisasi sistem, pembacaan tiga input, pemrosesan Fuzzy Sugeno, penentuan tingkat dan durasi penyiraman, pengendalian relay dan pompa, hingga pengiriman data ke Blynk. Setelah itu, sistem mengulangi pembacaan data sensor.

3.6.3 Perancangan Perangkat Keras

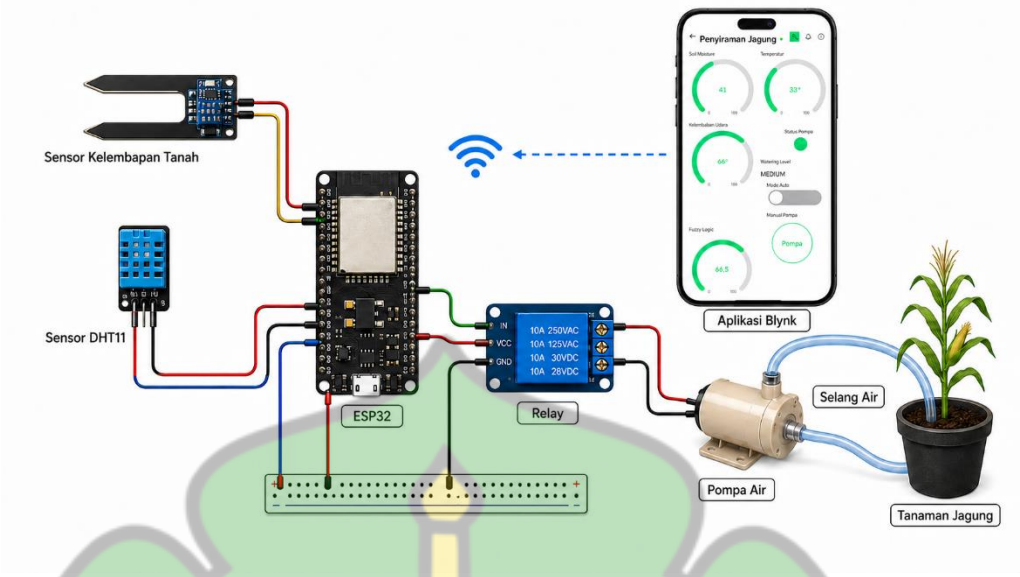
Perancangan perangkat keras menjelaskan susunan komponen fisik pada prototipe sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT). Komponen tersebut digunakan untuk membaca kondisi media tanam dan

lingkungan, memproses data, mengendalikan pompa, serta mendukung pemantauan melalui aplikasi Blynk.

Perangkat keras yang digunakan meliputi sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, ESP32, breadboard, relay, pompa air, selang, sumber daya, kabel penghubung, wadah air, dan media tanam jagung. Sensor kelembapan tanah membaca kondisi media tanam, sedangkan DHT11 menghasilkan data suhu dan kelembapan udara. Data tersebut diproses oleh ESP32 menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Hasil keputusan digunakan untuk mengendalikan relay dan pompa sesuai tingkat serta durasi penyiraman

Tabel 3.1 Komponen Perangkat Keras Sistem

No.	Komponen	Fungsi
1	Sensor kelembapan tanah	Membaca kondisi kelembapan media tanam
2	Sensor DHT11	Membaca suhu dan kelembapan udara
3	ESP32	Membaca sensor, menjalankan program fuzzy, mengendalikan relay, dan mengirim data ke Blynk
4	Breadboard	Tempat penyusunan sementara rangkaian
5	Relay	Saklar elektronik untuk mengendalikan pompa
6	Pompa air dan selang	Menyalurkan air menuju media tanam
7	Sumber daya	Menyediakan daya listrik bagi sistem
8	Kabel penghubung	Menghubungkan sensor, ESP32, relay, dan komponen lainnya
9	Wadah air	Menampung air untuk penyiraman
10	Media tanam jagung	Tempat penerapan sistem penyiraman



Gambar 3.4 Rancangan Perangkat Keras Sistem

3.6.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak merupakan tahap penyusunan program untuk mengatur kerja sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT). Program digunakan agar ESP32 dapat membaca tiga masukan, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara dari sensor DHT11. Data tersebut diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi untuk menentukan tingkat dan durasi penyiraman.

Program dibuat menggunakan Arduino IDE dan diunggah ke ESP32. Program juga mengatur koneksi Wi-Fi, pembacaan sensor, pengendalian relay dan pompa, serta pengiriman data ke aplikasi Blynk. Keluaran fuzzy berupa OFF, LOW, MEDIUM, atau HIGH digunakan untuk menentukan durasi pompa masing-masing 0, 5, 10, dan 15 detik. Data kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa ditampilkan pada Blynk secara berkala.

Tabel 3.2 Perangkat Lunak yang Digunakan

No.	Perangkat Lunak	Fungsi
1	Arduino IDE	Menulis, mengedit, dan mengunggah program ke ESP32
2	Program Fuzzy Sugeno	Mengolah tiga masukan sensor untuk menentukan keluaran penyiraman
3	Serial Monitor	Menampilkan data sensor, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa
4	Blynk	Menampilkan data sensor, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa

Alur kerja perangkat lunak dimulai dari inisialisasi sensor, relay, koneksi Wi-Fi, dan Blynk. ESP32 kemudian membaca kelembapan tanah, suhu, serta kelembapan udara. Data tersebut diproses menggunakan Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Hasil pengolahan digunakan untuk menentukan tingkat penyiraman dan durasi kerja pompa. Selanjutnya, ESP32 mengendalikan relay dan mengirimkan data sistem ke Blynk untuk dipantau oleh pengguna.

3.6.5 Perancangan Fuzzy Sugeno

Perancangan Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi digunakan untuk menentukan tingkat penyiraman berdasarkan tiga masukan sensor, yaitu kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Ketiga masukan tersebut diolah oleh ESP32 melalui proses fuzzifikasi, evaluasi aturan, agregasi keluaran, dan perhitungan rata-rata berbobot. Hasil akhirnya berupa nilai keluaran fuzzy yang selanjutnya dipetakan menjadi tingkat penyiraman OFF, LOW, MEDIUM, atau HIGH serta durasi kerja pompa.

1. Variabel Masukan

Sistem menggunakan tiga variabel masukan. Masing-masing variabel dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy sehingga diperoleh 3 × 3 × 3 atau 27 kombinasi aturan.

Tabel 3.3 Domain Variabel Fuzzy

Variabel	**Himpunan fuzzy**	**Rentang**
Kelembapan tanah	Kering, lembap, basah	0–100%
Suhu	Dingin, normal, panas	0–45 °C
Kelembapan udara	Rendah, normal, tinggi	0–100%RH

Batas fungsi keanggotaan ditetapkan sebagai parameter rancangan sistem dan diterapkan pada program ESP32. Rentang tersebut digunakan untuk mengubah nilai sensor menjadi kondisi fuzzy secara bertahap pada prototipe, sehingga tidak dimaksudkan sebagai batas umum untuk seluruh kondisi budidaya tanaman jagung.

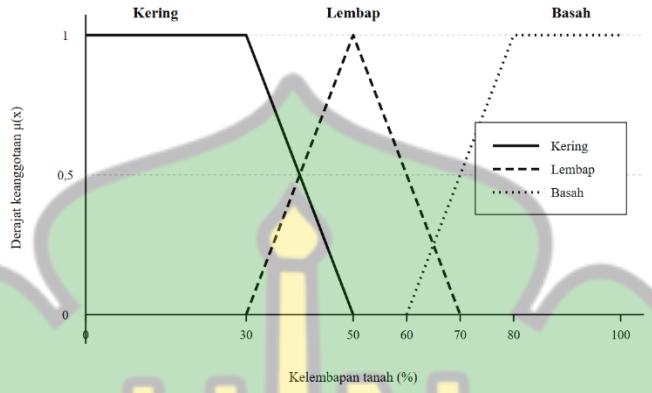
2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan digunakan untuk mengubah nilai sensor menjadi derajat keanggotaan pada setiap himpunan fuzzy. Nilai derajat keanggotaan berada pada rentang 0 sampai 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa suatu masukan tidak termasuk pada himpunan tertentu, sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa masukan tersebut sepenuhnya termasuk pada himpunan tersebut.

a. Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah dibagi menjadi kering, lembap, dan basah. Himpunan kering memiliki nilai penuh pada kelembapan tanah sampai dengan 30% dan menurun

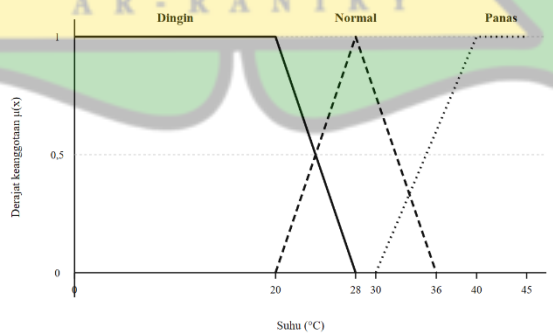
hingga nol pada 50%. Himpunan lembap aktif pada rentang 30% sampai 70%, dengan nilai tertinggi pada 50%. Himpunan basah mulai aktif setelah 60%, meningkat hingga nilai penuh pada 80%, dan tetap penuh sampai 100%.



Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan Kelembapan Tanah

b. Suhu

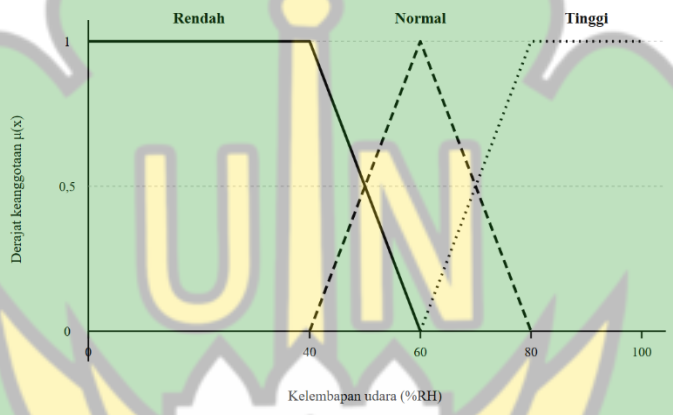
Suhu dibagi menjadi dingin, normal, dan panas. Himpunan dingin memiliki nilai penuh sampai 20 °C dan menurun hingga nol pada 28 °C. Himpunan normal aktif pada rentang 20 °C sampai 36 °C, dengan nilai tertinggi pada 28 °C. Himpunan panas mulai aktif setelah 30 °C dan mencapai nilai penuh pada suhu 40 °C atau lebih.



Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Suhu

c. Kelembapan Udara

Kelembapan udara dibagi menjadi rendah, normal, dan tinggi. Himpunan rendah memiliki nilai penuh sampai 40%RH dan menurun hingga nol pada 60%RH. Himpunan normal aktif pada rentang 40%RH sampai 80%RH, dengan nilai tertinggi pada 60%RH. Himpunan tinggi mulai aktif setelah 60%RH dan mencapai nilai penuh pada 80%RH atau lebih.



Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan Kelembapan Udara

Tabel 3.4 Batas Fungsi Keanggotaan Variabel Input

Variabel	Himpunan fuzzy	Rentang aktif	Keanggotaan penuh / puncak
Kelembapan tanah	Kering	0–50%	0–30%
	Lembap	30–70%	50%
	Basah	60–100%	80–100%
Suhu	Dingin	0–28 °C	0–20 °C
	Normal	20–36 °C	28 °C
	Panas	30–45 °C	40–45 °C
Kelembapan udara	Rendah	0–60%RH	0–40%RH
	Normal	40–80%RH	60%RH
	Tinggi	60–100%RH	80–100%RH

3. Basis Aturan Fuzzy

Basis aturan fuzzy digunakan untuk menentukan hubungan antara kondisi ketiga masukan dan tingkat penyiraman. Aturan berbentuk IF–THEN. Contoh aturan yang digunakan adalah sebagai berikut.

IF kelembapan tanah is kering AND suhu is panas AND kelembapan udara is rendah THEN tingkat penyiraman is HIGH.

Seluruh kombinasi aturan yang digunakan berjumlah 27 aturan dan disajikan pada Tabel 3.5 Keluaran setiap aturan berupa salah satu kategori, yaitu OFF, LOW, MEDIUM, atau HIGH.

Tabel 3.5 Basis Aturan Fuzzy

No.	Kelembapan tanah	Suhu	Kelembapan udara	Tingkat penyiraman
1	Kering	Dingin	Rendah	HIGH
2	Kering	Dingin	Normal	MEDIUM
3	Kering	Dingin	Tinggi	MEDIUM
4	Kering	Normal	Rendah	HIGH
5	Kering	Normal	Normal	HIGH
6	Kering	Normal	Tinggi	MEDIUM
7	Kering	Panas	Rendah	HIGH
8	Kering	Panas	Normal	HIGH
9	Kering	Panas	Tinggi	HIGH
10	Lembap	Dingin	Rendah	MEDIUM
11	Lembap	Dingin	Normal	LOW
12	Lembap	Dingin	Tinggi	OFF
13	Lembap	Normal	Rendah	MEDIUM
14	Lembap	Normal	Normal	MEDIUM
15	Lembap	Normal	Tinggi	LOW
16	Lembap	Panas	Rendah	HIGH

17	Lembap	Panas	Normal	MEDIUM
18	Lembap	Panas	Tinggi	MEDIUM
19	Basah	Dingin	Rendah	OFF
20	Basah	Dingin	Normal	OFF
21	Basah	Dingin	Tinggi	OFF
22	Basah	Normal	Rendah	OFF
23	Basah	Normal	Normal	OFF
24	Basah	Normal	Tinggi	OFF
25	Basah	Panas	Rendah	MEDIUM
26	Basah	Panas	Normal	LOW
27	Basah	Panas	Tinggi	OFF

4. Inferensi MIN dan Agregasi MAX

Setiap aturan yang aktif dihitung menggunakan operator MIN. Nilai terkecil dari derajat keanggotaan ketiga masukan digunakan sebagai kekuatan aturan atau α-predikat.

α = MIN (μ kelembapan tanah, μ suhu, μ kelembapan udara)

Apabila terdapat beberapa aturan yang menghasilkan kategori keluaran sama, nilai α-predikat dari aturan tersebut digabungkan menggunakan operator MAX. Dengan demikian, sistem memperoleh nilai kekuatan terbesar untuk setiap kategori OFF, LOW, MEDIUM, dan HIGH. Penggunaan operator MAX pada penelitian ini merupakan bagian dari modifikasi mekanisme inferensi yang diterapkan sesuai program pada ESP32.

5. Nilai Singleton dan Perhitungan Keluaran

Setiap kategori keluaran memiliki nilai singleton yang digunakan dalam perhitungan rata-rata berbobot.

Tabel 3.6 Nilai Singleton Keluaran

Kategori keluaran	Nilai singleton
OFF	15
LOW	40
MEDIUM	65
HIGH	90

Nilai keluaran fuzzy dihitung menggunakan rata-rata berbobot sebagai berikut.

$$z = ((\alpha OFF \times 15) + (\alpha LOW \times 40) + (\alpha MEDIUM \times 65) + (\alpha HIGH \times 90)) \div (\alpha OFF + \alpha LOW + \alpha MEDIUM + \alpha HIGH)$$

Keterangan: z adalah nilai keluaran fuzzy; αOFF, αLOW, αMEDIUM, dan αHIGH adalah nilai hasil agregasi MAX pada setiap kategori keluaran.

6. Pemetaan Keluaran ke Durasi Pompa

Nilai z yang diperoleh dari perhitungan rata-rata berbobot dipetakan menjadi tingkat penyiraman dan durasi kerja pompa. Tahap ini merupakan post-processing untuk menerjemahkan nilai keluaran fuzzy menjadi durasi kerja relay dan pompa yang bersifat diskret.

Tabel 3.7 Pemetaan Keluaran Fuzzy ke Durasi Pompa

Rentang nilai z	Tingkat penyiraman	Durasi pompa
$z \leq 30$	OFF	0 detik

$30 < z \leq 50$	LOW	5 detik
$50 < z \leq 75$	MEDIUM	10 detik
$z > 75$	HIGH	15 detik

7. Contoh Perhitungan Manual

Contoh perhitungan menggunakan data pengujian dengan kelembapan tanah 48%, suhu 33,6 °C, dan kelembapan udara 66%RH.

a. Fuzzifikasi

Pada kelembapan tanah 48%, diperoleh:

μkering = (50 − 48) ÷ 20 = 0,10

μlembap = (48 − 30) ÷ 20 = 0,90

μbasah = 0, karena nilai kelembapan tanah masih di bawah 60%.

Pada suhu 33,6 °C, diperoleh:

μdingin = 0

μnormal = (36 − 33,6) ÷ 8 = 0,30

μpanas = (33,6 − 30) ÷ 10 = 0,36

Pada kelembapan udara 66%RH, diperoleh:

μrendah = 0

μnormal = (80 − 66) ÷ 20 = 0,70

μtinggi = (66 − 60) ÷ 20 = 0,30

Hasil fuzzifikasi disajikan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Hasil Fuzzifikasi Data Pengujian

Variabel	Himpunan fuzzy	Derajat keanggotaan
Kelembapan tanah 48%	Kering	0,1
	Lembap	0,9
	Basah	0
Suhu 33,6 °C	Dingin	0
	Normal	0,3
	Panas	0,36
Kelembapan udara 66%RH	Rendah	0
	Normal	0,7
	Tinggi	0,3

b. Evaluasi Aturan Aktif dengan Operator MIN

Berdasarkan hasil fuzzifikasi, terdapat delapan aturan yang aktif. Nilai α-predikat setiap aturan dihitung menggunakan operator MIN.

Tabel 3.9 Hasil Evaluasi Aturan Aktif

5	HIGH	MIN (0,10; 0,30; 0,70) = 0,10
6	MEDIUM	MIN (0,10; 0,30; 0,30) = 0,10
8	HIGH	MIN (0,10; 0,36; 0,70) = 0,10
9	HIGH	MIN (0,10; 0,36; 0,30) = 0,10
14	MEDIUM	MIN (0,90; 0,30; 0,70) = 0,30
15	LOW	MIN (0,90; 0,30; 0,30) = 0,30

17	MEDIUM	MIN (0,90; 0,36; 0,70) = 0,36
18	MEDIUM	MIN (0,90; 0,36; 0,30) = 0,30

c. Agregasi MAX

Nilai aturan dengan kategori keluaran yang sama digabungkan menggunakan operator MAX, sehingga diperoleh:

αOFF = 0

αLOW = MAX (0,30) = 0,30

αMEDIUM = MAX (0,10; 0,30; 0,36; 0,30) = 0,36

αHIGH = MAX (0,10; 0,10; 0,10) = 0,10

d. Perhitungan Weighted Average

$z = ((0 \times 15) + (0{,}30 \times 40) + (0{,}36 \times 65) + (0{,}10 \times 90)) \div (0 + 0{,}30 + 0{,}36 + 0{,}10)$

$z = 44{,}4 \div 0{,}76 = 58{,}42$

Nilai 58,42 berada pada rentang $50 < z \leq 75$. Oleh karena itu, sistem menentukan tingkat penyiraman MEDIUM dan mengaktifkan pompa selama 10 detik. Hasil tersebut sesuai dengan data pengujian pada Tabel 4.1.

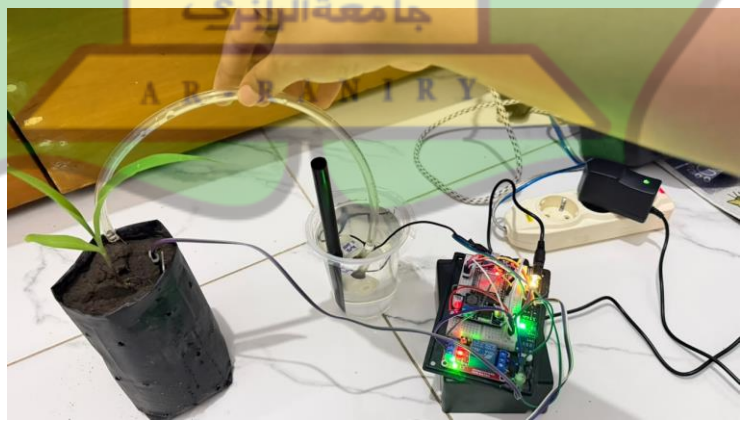
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan menggabungkan sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, ESP32, relay, pompa air, selang, media tanam jagung, dan aplikasi Blynk. Sensor kelembapan tanah digunakan untuk membaca kondisi media tanam, sedangkan DHT11 digunakan untuk memperoleh data suhu dan kelembapan udara.

Data dari sensor diproses oleh ESP32 menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi. Hasil pengolahan tersebut digunakan untuk menentukan tingkat penyiraman serta durasi kerja pompa. Relay berfungsi sebagai pengendali pompa, sedangkan air dialirkan melalui selang menuju media tanam jagung. Aplikasi Blynk digunakan untuk menampilkan data kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, dan status pompa. Dengan demikian, seluruh komponen dapat bekerja sebagai satu sistem penyiraman otomatis dan hasilnya dapat dipantau melalui perangkat seluler.



Gambar 4.1. Implementasi perangkat keras dan proses penyiraman tanaman jagung

Gambar 4.1 memperlihatkan prototipe perangkat keras, susunan komponen, serta proses pengaliran air menuju media tanam jagung. Gambar tersebut digunakan sebagai dokumentasi implementasi sistem.

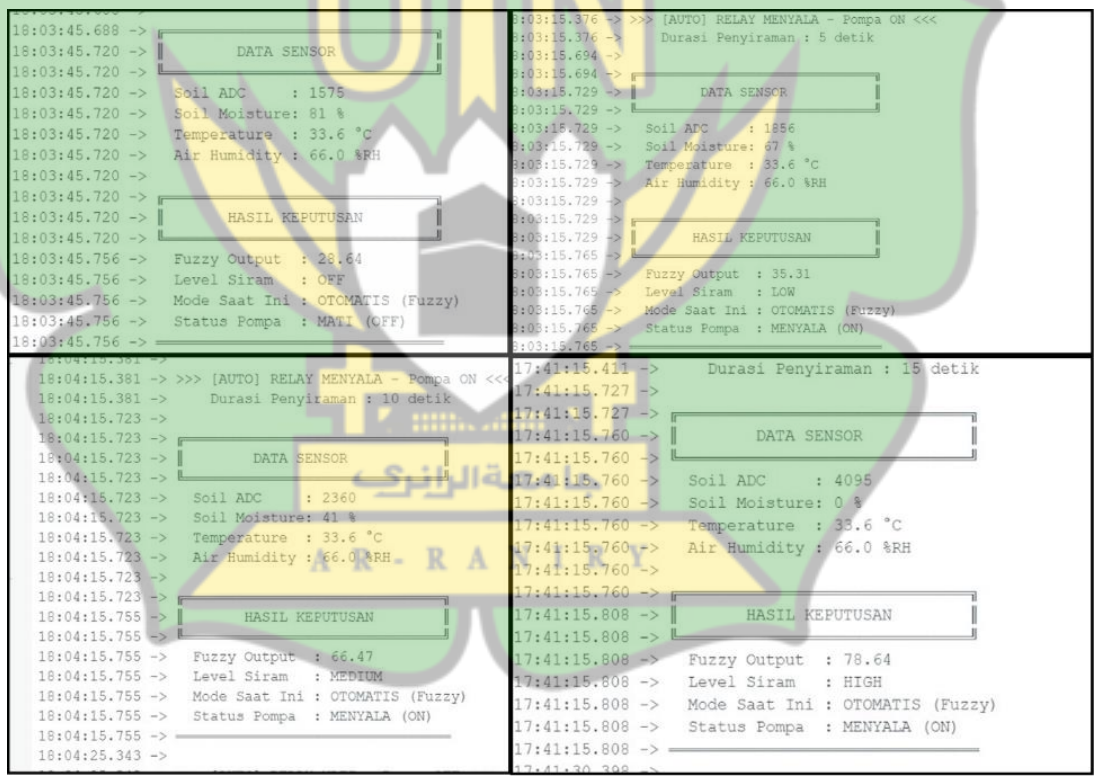
4.2 Hasil Pengujian Fuzzy dan Pompa

Pengujian dilakukan dengan mengamati nilai kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, tingkat penyiraman, status pompa, dan durasi kerja pompa. Data diperoleh dari hasil pembacaan Serial Monitor dan dokumentasi pengujian sistem.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Fuzzy dan Pompa

No.	KT (%)	Suhu (°C)	KU (%RH)	Output fuzzy	Level siram	Status pompa dan durasi
1	0	33,4	63	82,35	HIGH	Menyala, 15 detik
2	18	33,6	66	78,64	HIGH	Menyala, 15 detik
3	41	33,6	66	66,47	MEDIUM	Menyala, 10 detik
4	43	33,6	66	66,24	MEDIUM	Menyala, 10 detik
5	47	33,6	66	60,37	MEDIUM	Menyala, 10 detik
6	48	33,6	66	58,42	MEDIUM	Menyala, 10 detik
7	50	33,6	66	53,64	MEDIUM	Menyala, 10 detik
8	56	33,6	66	53,64	MEDIUM	Menyala, 10 detik
9	65	33,6	66	40	LOW	Menyala, 5 detik
10	67	33,6	66	35,31	LOW	Menyala, 5 detik
11	68	33,6	66	33,42	LOW	Menyala, 5 detik
12	70	33,6	66	28,64	OFF	Mati, 0 detik
13	78	33,2	66	28,64	OFF	Mati, 0 detik
14	81	33,6	66	28,64	OFF	Mati, 0 detik
15	100	33,6	66	28,64	OFF	Mati, 0 detik

Berdasarkan Tabel 4.1, keluaran fuzzy berada pada rentang 28,64 sampai 82,35. Pada kelembapan tanah yang rendah, sistem menghasilkan level HIGH dengan durasi pompa 15 detik. Ketika kelembapan tanah berada pada rentang 41–56%, sistem menghasilkan level MEDIUM dengan durasi 10 detik. Pada kelembapan 65–68%, sistem menghasilkan level LOW dengan durasi 5 detik. Pada kelembapan tanah sebesar 70% atau lebih, sistem menghasilkan level OFF sehingga relay tidak mengaktifkan pompa. Nilai keluaran yang sama pada beberapa kondisi dicatat sesuai hasil program dan pengujian yang tersedia. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keluaran level dan durasi pompa mengikuti keputusan Fuzzy Sugeno yang diterapkan pada sistem.

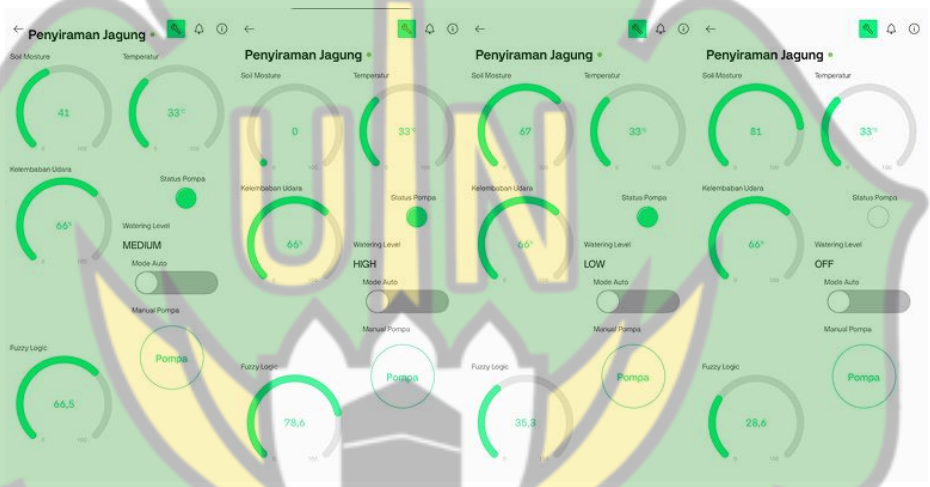


Gambar 4.2. Bukti Serial Monitor hasil pengujian pada kondisi HIGH, MEDIUM, LOW, dan OFF

Gambar 4.2 memperlihatkan keluaran Serial Monitor pada empat kondisi penyiraman. Informasi yang ditampilkan meliputi data sensor, nilai keluaran fuzzy, level penyiraman, status pompa, dan durasi kerja pompa.

4.3 Monitoring Sistem melalui Blynk

Aplikasi Blynk digunakan sebagai media pemantauan sistem penyiraman tanaman jagung. Dashboard menampilkan kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, level penyiraman, dan status pompa.



Gambar 4.3. Tampilan monitoring sistem melalui Blynk

Berdasarkan Gambar 4.3, pada kelembapan tanah 41% sistem menghasilkan keluaran fuzzy 66,5 dengan level MEDIUM. Pada kelembapan tanah 0%, keluaran fuzzy meningkat menjadi 78,6 dengan level HIGH. Selanjutnya, kelembapan tanah 67% menghasilkan keluaran fuzzy 35,3 dengan level LOW, sedangkan kelembapan tanah 81% menghasilkan keluaran fuzzy 28,6 dengan level OFF.

Tampilan Blynk menunjukkan bahwa data sensor dan hasil keputusan yang diproses oleh ESP32 dapat dikirimkan serta dipantau melalui perangkat seluler. Status pompa juga ditampilkan sesuai dengan level penyiraman yang dihasilkan oleh sistem.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem memberikan level penyiraman yang lebih tinggi ketika kelembapan tanah berada pada nilai rendah. Kondisi tanah yang kering menghasilkan level HIGH atau MEDIUM dengan durasi pompa yang lebih lama. Sebaliknya, peningkatan kelembapan tanah menyebabkan level penyiraman menurun menjadi LOW hingga OFF.

Pada data pengujian, suhu dan kelembapan udara berada pada kondisi yang relatif sama, yaitu sekitar 33,6 °C dan 66%RH. Sementara itu, nilai kelembapan tanah berubah dari kondisi kering hingga basah. Perubahan tersebut diikuti oleh perubahan keluaran fuzzy dan level penyiraman, sehingga sistem dapat menyesuaikan keputusan berdasarkan kondisi media tanam dan parameter lingkungan yang dibaca sensor. Keluaran fuzzy yang diperoleh berada pada rentang 28,64 hingga 82,35. Nilai keluaran tersebut digunakan untuk menentukan level penyiraman melalui pembagian kategori. Level HIGH menggunakan durasi pompa 15 detik, MEDIUM 10 detik, LOW 5 detik, sedangkan OFF tidak mengaktifkan pompa. Kesesuaian antara level penyiraman dan durasi kerja pompa menunjukkan bahwa relay serta pompa bekerja mengikuti keputusan Fuzzy Sugeno yang dihasilkan ESP32. Beberapa nilai keluaran yang sama pada kondisi kelembapan tertentu dicatat sesuai hasil program dan pengujian yang tersedia.

Data kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, keluaran fuzzy, level penyiraman, dan status pompa juga dapat dipantau melalui aplikasi Blynk. Kesesuaian informasi antara Serial Monitor dan Blynk menunjukkan bahwa data hasil pemrosesan sistem berhasil dikirimkan dan dapat dipantau melalui perangkat seluler.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, prototipe sistem penyiraman tanaman jagung berbasis Internet of Things (IOT) telah dibuat menggunakan ESP32, sensor kelembapan tanah, sensor DHT11, relay, pompa air, selang, dan aplikasi Blynk. Sistem dapat membaca kelembapan tanah, suhu, serta kelembapan udara sebagai parameter masukan dalam menentukan kebutuhan penyiraman.

Pengambilan keputusan dilakukan menggunakan metode Fuzzy Sugeno orde nol termodifikasi dengan 27 aturan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran fuzzy berada pada rentang 28,64 hingga 82,35. Kondisi tanah yang lebih kering menghasilkan level penyiraman yang lebih tinggi, sedangkan peningkatan kelembapan tanah menyebabkan level penyiraman menurun.

Hasil keluaran fuzzy digunakan untuk menentukan durasi kerja pompa. Level HIGH memiliki durasi 15 detik, MEDIUM 10 detik, LOW 5 detik, dan OFF memiliki durasi 0 detik. Relay dan pompa dapat bekerja sesuai keputusan sistem. Data sensor, keluaran fuzzy, level penyiraman, serta status pompa juga dapat ditampilkan melalui aplikasi Blynk sehingga kondisi sistem dapat dipantau melalui perangkat seluler.

جامعة الرانري
AR-RANIRY

5.2 Saran

Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan melakukan kalibrasi sensor kelembapan tanah dan sensor DHT11 secara berkala agar pembacaan data lebih stabil. Sistem juga dapat dilengkapi dengan penyimpanan riwayat data sehingga perubahan kondisi tanah, lingkungan, dan keputusan penyiraman dapat dianalisis dalam jangka waktu yang lebih panjang.

Selain itu, pengujian dapat dilakukan pada media tanam, kondisi lingkungan, dan area tanam yang lebih beragam. Pengembangan berikutnya juga dapat mempertimbangkan penggunaan sistem pelindung perangkat serta penerapan pada area tanam yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

[1] V. Kumar, K. V. Sharma, N. Kedam, A. Patel, T. R. Kate, dan U. Rathnayake, "A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies," Smart Agricultural Technology, vol. 8, Art. no. 100487, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100487.

[2] A. Soussi, E. Zero, R. Sacile, D. Trinchero, dan M. Fossa, "Smart sensors and smart data for precision agriculture: A review," Sensors, vol. 24, no. 8, Art. no. 2647, 2024, doi: 10.3390/s24082647.

[3] I. A. Lakhiar et al., "A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints," Agriculture, vol. 14, no. 7, Art. no. 1141, 2024, doi: 10.3390/agriculture14071141.

[4] Y. Dong, B. Werling, Z. Cao, dan G. Li, "Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management," Frontiers in Water, vol. 6, Art. no. 1353597, 2024, doi: 10.3389/frwa.2024.1353597.

[5] R. L. Alam dan A. Nasuha, "Sistem pengendali pH air dan pemantauan lingkungan tanaman hidroponik menggunakan fuzzy logic controller berbasis IoT," ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education), vol. 5, no. 1, pp. 11–20, 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i1.34587.

[6] A. Syaefulloh, E. Permata, dan I. Irwanto, "Implementasi IoT cerdas berbasis inference fuzzy Tsukamoto pada pemantauan kadar pH air dan suhu pada tanaman tomat," Cyclotron: Jurnal Teknik Elektro, vol. 5, no. 2, pp. 61–71, 2022.

[7] Z. Arief, H. Zarory, Jufrizel, dan D. Mursyitah, “Rancang bangun sistem pemantauan dan penyiraman pintar tanaman cabai pada greenhouse menggunakan fuzzy Mamdani berbasis Blynk IoT,” AITI: Jurnal Teknologi Informasi, vol. 21, no. 2, pp. 271–284, 2024.

[8] I. H. Rosma, D. Y. Sukma, dan I. M. Solihin, “Otomatisasi sistem fertigasi tetes untuk tanaman berbasis mikrokontroler,” Jurnal Teknik Elektro, vol. 13, no. 1, pp. 34–41, 2021, doi: 10.15294/jte.v13i1.31123.

[9] M. Sabil, S. Defit, dan G. W. Nurcahyo, “Penerapan metode fuzzy logic dalam sistem pemantauan tanaman berbasis Internet of Things dengan Arduino,” Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech), vol. 5, no. 1, pp. 195–204, 2024, doi: 10.37859/coscitech.v5i1.6710.

[10] M. J. Saputra dan R. R. Suryono, “Implementasi teknologi irigasi tetes pada tanaman jagung menggunakan sensor soil moisture dan mikrokontroler ESP32,” MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science, vol. 5, no. 1, pp. 111–118, 2025, doi: 10.57152/malcom.v5i1.1642.

[11] K. A. Saragih dan R. Kurniawan, “Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dengan logika fuzzy Sugeno untuk pengendalian kelembaban tanah di greenhouse,” Jurnal Algoritma, vol. 23, no. 1, pp. 808–819, 2025, doi: 10.33364/algoritma/v.23-1.2327.

[12] V. R. Pathmudi, N. Khatri, S. Kumar, A. S. H. Abdul-Qawy, dan A. K. Vyas, “A systematic review of IoT technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications,” Scientific African, vol. 19, Art. no. e01577, 2023, doi: 10.1016/j.sciaf.2023.e01577.

[13] A. Morchid, R. El Alami, A. A. Raezah, dan Y. Sabbar, "Applications of Internet of Things and sensors technology to increase food security and agricultural sustainability: Benefits and challenges," Ain Shams Engineering Journal, vol. 15, no. 3, Art. no. 102509, 2024, doi: 10.1016/j.asej.2023.102509.

[14] A. Supiyandi, K. Priandana, dan H. Rahmawan, "Pengembangan sistem terintegrasi real-time monitoring dan irigasi cerdas pada Sawah IPB 4.0," Jurnal Ilmu Komputer dan Agri-Informatika, vol. 12, no. 2, pp. 155–166, 2025, doi: 10.29244/jika.12.2.155-166.

[15] N. Tinaprilla, Y. N. Muflikh, R. Yanuar, dan K. I. Permata, "The roles of smart fertigation in chili farming," Jurnal Manajemen dan Agribisnis, vol. 21, no. 1, pp. 95–108, 2024, doi: 10.17358/jma.21.1.95.

[16] P. Rajak, A. Ganguly, S. Adhikary, dan S. Bhattacharya, "Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges," Journal of Agriculture and Food Research, vol. 14, Art. no. 100776, 2023, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100776.

[17] R. E. Putri, W. F. A., dan D. Cherie, "Monitoring and control system development on IoT-based aeroponic growth of pakcoy (Brassica rapa L.)," Jurnal Keteknikan Pertanian, vol. 11, no. 2, pp. 222–239, 2023, doi: 10.19028/jtep.011.2.222-239.

[18] R. Siskandar, S. H. Santosa, Wiyoto, B. R. Kusumah, dan A. P. Hidayat, "Control and automation: INSMOAF (Integrated Smart Modern Agriculture and Fisheries) on the greenhouse model," Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, vol. 27, no. 1, pp. 141–152, 2022, doi: 10.18343/jipi.27.1.141.

[19] A. P. Merdekawan dan P. Sari, "Studi awal rancang bangun indoor farming monitoring

system berbasis IoT dengan protokol WebSocket," Jurnal Ilmu Komputer dan Agri-Informatika, vol. 9, no. 2, pp. 189–198, 2022, doi: 10.29244/jika.9.2.189-198.

[20] K. Obaideen et al., "An overview of smart irrigation systems using IoT," Energy Nexus, vol. 7, Art. no. 100124, 2022, doi: 10.1016/j.nexus.2022.100124.

[21] B. Sugandi dan J. Armentaria, "Sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan metode logika fuzzy," Journal of Applied Electrical Engineering, vol. 5, no. 1, pp. 5–8, 2021, doi: 10.30871/jaee.v5i1.2991.

[22] D. Syafriyandi, B. I. Setiawan, C. Arif, dan Suwardi, "Kinerja irigasi bawah permukaan otomatis nirdaya pada budidaya kangkung, caisim, dan bayam," Jurnal Keteknikan Pertanian, vol. 11, no. 3, pp. 268–278, 2023, doi: 10.19028/jtep.011.3.268-278.

[23] F. Suryatini, Maimunah, dan F. I. Fauzandi, "Implementasi sistem kontrol irigasi tetes menggunakan konsep IoT berbasis logika fuzzy Takagi-Sugeno," JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), vol. 4, no. 1, pp. 115–124, 2019, doi: 10.31544/jtera.v4.i1.2019.115-124.

[24] A. Thoriq, L. H. Pratopo, R. M. Sampurno, dan S. H. Shafiyullah, "Rancang bangun sistem monitoring suhu dan kelembaban tanah berbasis Internet of Things," Jurnal Keteknikan Pertanian, vol. 10, no. 3, pp. 268–280, 2022, doi: 10.19028/jtep.010.3.268-280.