

**PERACANGAN SISTEM MONITORING IRIGASI LAHAN PERTANIAN
BERBASIS *INTERNET OF THINGS(IOT)* PADA KELOMPOK TANI
BAWANG MERAH DESA WONODADI KECAMATAN
GADINGREJO KABUPATEN PRINGSEWU**

(Skripsi)

Oleh

YUSUF ARIFIN

2217051158



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**PERACANGAN SISTEM MONITORING IRIGASI LAHAN PERTANIAN
BERBASIS *INTERNET OF THINGS(IOT)* PADA KELOMPOK TANI
BAWANG MERAH DESA WONODADI KECAMATAN
GADINGREJO KABUPATEN PRINGSEWU**

Oleh

YUSUF ARIFIN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Komputer**

Pada

Jurusan Ilmu Komputer

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM MONITORING IRIGASI LAHAN PERTANIAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* PADA KELOMPOK TANI BAWANG MERAH DESA WONODADI KECAMATAN GADINGREJO KABUPATEN PRINGSEWU

Oleh

YUSUF ARIFIN

Pengelolaan irigasi bawang merah di Kelompok Tani Desa Wonodadi yang masih dilakukan secara konvensional sering kali memicu inefisiensi berupa pemborosan air, pembusukan umbi akibat penyiraman berlebih, hingga stres tanaman akibat kekeringan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini merancang sistem monitoring dan kendali irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan metode logika *Fuzzy Sugeno* melalui pendekatan model pengembangan ADDIE. Arsitektur sistem diintegrasikan menggunakan mikrokontroler *ESP32* yang terhubung dengan sensor suhu *DHT22*, sensor kelembapan tanah kapasitif, sensor pendeteksi hujan, serta antarmuka pemantauan *Node-RED* yang berkomunikasi via protokol *MQTT*. Hasil kalibrasi dan pengujian lapangan menunjukkan kinerja instrumen yang sangat presisi dengan rata-rata tingkat *error* sensor kelembapan tanah sebesar 2,52% dan suhu 0,35%, serta latensi transmisi data *real-time* yang sangat responsif yakni 1,2 detik. Implementasi algoritma *Fuzzy Sugeno* terbukti adaptif dalam menentukan durasi penyiraman yang presisi—mampu memulihkan titik lahan terkering (29%) menjadi tingkat kelembapan ideal (69,3%) melalui aktuasi pompa 10 detik—sekaligus menghentikan penyiraman secara otomatis sebagai tindakan preventif saat hujan terdeteksi. Secara keseluruhan, inovasi irigasi cerdas ini tervalidasi lebih akurat, konsisten, dan efisien dalam menjaga stabilitas iklim mikro lahan dibandingkan metode manual, sehingga sangat potensial diimplementasikan untuk mendukung produktivitas pertanian presisi.

Kata Kunci: *Internet of Things (IoT)*, Irigasi Otomatis, Bawang Merah, *Fuzzy Sugeno*, *Node-RED*, *ESP32*.

ABSTRACT

DESIGN OF AN INTERNET OF THINGS (IOT) BASED AGRICULTURAL AND IRRIGATION MONITORING SYSTEM FOR SHALLOT FARMER GROUPS IN WONODADI VILLAGE GADINGREJO DISTRICT PRINGSEWU REGENCY

By

YUSUF ARIFIN

The conventional irrigation management of shallots among farmer groups in Wonodadi Village often leads to inefficiencies, such as water wastage, bulb rot due to over-watering, and plant stress caused by drought. To address these issues, this study designed an Internet of Things (IoT)-based automated irrigation monitoring and control system using the Fuzzy Sugeno logic method, developed through the ADDIE model approach. The system architecture integrates an ESP32 microcontroller connected to a DHT22 temperature sensor, a capacitive soil moisture sensor, and a rain sensor, with a Node-RED monitoring interface communicating via the MQTT protocol. Calibration and field testing results demonstrated high instrumental precision, with average error rates of 2.52% for the soil moisture sensor and 0.35% for the temperature sensor, along with a highly responsive real-time data transmission latency of 1.2 seconds. The implementation of the Fuzzy Sugeno algorithm proved adaptive in determining precise irrigation durations—successfully restoring the driest soil conditions (29%) to an ideal moisture level (69.3%) through a 10-second pump actuation—while automatically halting irrigation as a preventive measure when rain is detected. Overall, this smart irrigation innovation is validated to be more accurate, consistent, and efficient in maintaining land microclimate stability compared to manual methods, showing significant potential for implementation in supporting precision agriculture productivity.

Keywords: *Internet of Things (IoT), Automated Irrigation, Shallots, Fuzzy Sugeno, Node-RED, ESP32.*

Judul Skripsi : **PERANCANGAN SISTEM MONITORING
IRIGASI LAHAN PERTANIAN BERBASIS
INTERNET OF THINGS (IOT) PADA
KELOMPOK TANI BAWANG MERAH
DESA WONODADI KECAMATAN GADING
REJO KABUPATEN PRINGSEWU**

Nama Mahasiswa : **Yusuf Arifin**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2217051158**

Jurusan : **Ilmu Komputer**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Febi Eka Febriansyah, M.T.
NIP. 19800219 200604 1 001

Allwine, S.Pd., S.Kom., M.Kom.
NIP. 19910510 202406 1 002

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Ilmu Komputer

Ketua Jurusan Program Studi S1 Ilmu
Komputer

Dwi Sakethi, S. Si., M. Kom.
NIP. 19680611 199802 1 001

Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D.
NIP. 19810414 200501 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Febi Eka Febriansyah, M.T.



Penguji I : Allwine, S.Pd., S.Kom., M.Kom.



Penguji II : Favorisen R. Lumbanraja, Ph.D



2. Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 6 April 2026

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusuf Arifin
Nomor Pokok Mahasiswa : 2217051158
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini saya menyatakan skripsi saya yang berjudul "**Perancangan Sistem Monitoring Irigasi Lahan Pertanian Berbasis *Internet Of Things (IoT)* Pada Kelompok Tani Bawang Merah Desa Wonodadi, Kecamatan GadingRejo, Kabupaten Pringsewu**" adalah murni benar-benar hasil karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat sebagaimana telah diatur dalam Pasal 43 Peraturan Akademik Universitas Lampung Nomor 2 Tahun 2024.

Bandar Lampung, 20 April 2026

Penulis



Yusuf Arifin

NPM : 2217051158

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Yusuf Arifin, Menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar SDN 03 Wargomulyo pada Tahun 2015 melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 05 Pringsewu dan lulus pada tahun 2018 kemudian menamatkan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Roudlotul Huda Purwosari pada Tahun 2021. pada Tahun 2022 penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung melalui jalur PMPAP (Program Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan).

Selama menempuh pendidikan di Program Studi Ilmu Komputer penulis terlibat aktif dalam berbagai kegiatan baik yang diselenggarakan di dalam maupun di luar lingkungan Universitas Lampung. Adapun kegiatan yang diikuti antara lain sebagai berikut:

1. Bergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Birohmah (Bina Rohani Islam Mahasiswa) yang berfokus pada Lembaga Dakwah Kampus (LDK) tingkat universitas di Universitas Lampung.
2. Mengikuti kegiatan Kerja Praktik di Dinas Industri dan Perdagangan Provinsi Lampung (PERINDAG) pada Tahun 2025.
3. Mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I Tahun 2025 selama 40 hari di Desa Mulyosari Kecamatan Tanjung Sari Kabupaten Lampung Selatan.

4. Menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Internet of Things (IoT) di Program Studi Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) pada Tahun 2026.
5. Menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Internet of Things (IoT) di Program Studi Bisnis Digital Fakultas Ekonomi dan Bisnis (FEB) pada Tahun 2026.
6. Aktif dalam Forum Mahasiswa PMPAP Universitas Lampung pada bidang Komunikasi dan Informasi (KOMINFO).

MOTTO

"Ilmu pengetahuan adalah sarana menuju kemuliaan dan kekuasaan. Barangsiapa yang memilikinya, ia akan mampu melakukan banyak hal. Dan barangsiapa yang tidak memilikinya, maka orang lainlah yang akan mendiktenya."

(Ayatollah Ali Khamenei)

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Teruntuk kedua orang tuaku, kakak dan adik-adik yang tercinta. Sebuah karya penulisan sederhana ini kupersembahkan sebagai wujud atas yang telah menjadi cita-citaku selama ini.

Almameterku tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perancangan Sistem Monitoring Irigasi Lahan Pertanian Berbasis Internet of Things (IoT) pada Kelompok Tani Bawang Merah Desa Wonodadi Kecamatan Gadingrejo Kabupaten Pringsewu”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.

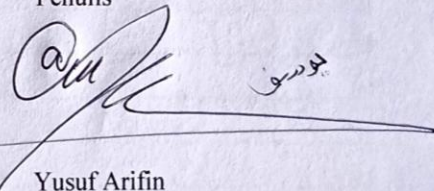
Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan ketulusan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
2. Bapak Dwi Sakethi, M. Kom. selaku Ketua Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
3. Bapak Febi Eka Febriansyah, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Allwine, S.Pd., S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran bimbingan kepada penulis selama berkuliah di Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung.

5. Bapak Favorisen R. Lumbanraja, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembahas skripsi yang selalu memberikan dukungan dan
6. Ibu Yunda Heningtyas, S. Kom., M. Kom. selaku Sekretaris Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Tristiyanto, S.Kom., M.I.S., Ph.D. selaku Ketua Prodi S1 Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
8. yang konstruktif kepada penulis sehingga penelitian skripsi ini selesai.
9. Seluruh dosen Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
10. Ibu Ade Nora Maela S.IP., selaku Administrator Jurusan Ilmu Komputer yang telah membantu dalam pengurusan administrasi selama perkuliahan.
11. Kedua orang tua tercinta, yang telah Mendoakan penulis untuk mencapai cita-cita.
12. Teman-teman Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung angkatan 2022 yang telah menjadi bagian dari proses perkuliahan

Bandar Lampung, 20 April 2026

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Yusuf Arifin', with a long horizontal line extending to the right. To the right of the signature, there is a small handwritten note in Arabic script: 'يوسف'.

Yusuf Arifin

NPM. 2217051158

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	14
DAFTAR GAMBAR.....	17
DAFTAR TABEL	19
DAFTAR SINGKATAN.....	21
I. PENDAHULUAN.....	22
1.1 Latar Belakang	22
1.2 Rumusan Masalah	24
1.3 Tujuan Penelitian	24
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	24
1.5 Manfaat Penelitian	25
II. TINJAUAN PUSTAKA	26
2.1 Penelitian Terkait	26
2.2 Pengertian Sistem.....	28
2.2.1 Sistem Kontrol Terbuka	28
2.2.2 Sistem Kontrol Tertutup.....	29
2.3 Sistem Monitoring.....	30
2.4 Pertanian dan Irigasi.....	31
2.4.1 Sistem Irigasi.....	32
2.4.2 Jenis dan Pola Irigasi.....	33
2.4.3 Efisiensi Penggunaan Air dalam Pertanian	34
2.5 <i>Internet Of Things (IoT)</i>	34
2.6 Tanaman Bawang Merah	36
2.7 Metode Fuzzy	37
2.7.1 <i>Fuzzy Sugeno</i>	38
2.8 <i>NodeMCU ESP32</i>	39

2.9 Sensor dan Aktuator	41
2.9.1 Sensor Kelembapan Tanah.....	41
2.9.2 Sensor Suhu <i>DHT22</i>	43
2.9.3 Sensor Hujan	45
2.9.4 Relay dan Pompa Air	46
2.10 Perangkat Lunak Pendukung.....	47
2.10.1 <i>Fritzing</i>	47
2.10.2 <i>Node-RED</i>	48
2.10.3 <i>Arduino IDE</i>	49
2.10.5 <i>Cloud Server</i>	50
2.11 Protokol Komunikasi Data.....	51
2.12 <i>HTTP (Hypertext Transfer Protocol)</i>	51
2.13 <i>Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)</i>	51
III. METODE PENELITIAN	53
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	53
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	53
3.3 Alur Penelitian	53
3.4 Metode Pengembangan Sistem Penelitian	54
3.5 Pengumpulan Data	57
3.6 Perancangan Sistem	59
3.6.1 Diagram Blok Sistem	60
3.6.2 Diagram Alir Sistem Kerja Alat.....	61
3.7 Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	65
3.8 Desain Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	66
3.8.1 Perangkat Lunak.....	66
3.8.2 Perancangan Variabel <i>Fuzzy</i>	67
3.8.3 Analisis Logika Operasional <i>Fuzzy</i>	71
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	73
4.1 Implementasi Sistem	73
4.1.1 Implementasi Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	73

4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	75
4.1.3 Implementasi Antarmuka (<i>Dashboard</i>) <i>Node-RED</i>	78
4.1.4 Implementasi Alur Logika (<i>Flow</i>) <i>Node-RED</i>	80
4.1.5 Analisis Skalabilitas Debit Irigasi pada Lahan Aktual	81
4.2 Pengujian dan kalibrasi Sistem	82
4.2.1 Kalibrasi Sensor Kelembapan Tanah (<i>Soil moisture</i>).....	82
4.2.2 Kalibrasi Sensor Suhu (<i>DHT22</i>)	83
4.2.3 Pengujian Sensor Pendeteksi Hujan.....	84
4.2.4 Pengujian sistem dilokasi pertanian	85
4.2.3 Pengujian Logika <i>Fuzzy Sugeno</i>	86
4.2.4 Pengujian Integrasi Sistem Keseluruhan.....	87
4.2.5 Pengujian Pengiriman Data (<i>QoS</i>)	88
4.3 Pengujian Distribusi Kelembapan Tanah pada 5 Titik Sampel	89
4.3.1 Analisis Efektivitas Posisi Sensor Terhadap Distribusi Kelembapan (Simulasi Lahan Panjang)	92
4.4 Pembahasan.....	92
4.4.1 Analisis Akurasi Sistem Monitoring.....	93
4.4.2 Analisis Efisiensi Penyiraman Otomatis.....	94
4.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Sistem	94
4.4.3 Perbandingan Sistem dengan Metode Konvensional.....	95
4.4.4 Analisis Konsumsi Energi Sistem.....	99
V. KESIMPULAN.....	102
5.1 Kesimpulan	102
5.2 Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sistem Kontrol Terbuka (<i>Open Loop Control System</i>).	29
2. Sistem Kontrol Tertutup (<i>Closed Loop Control System</i>).....	30
3. <i>Internet of things</i> (Subiksa <i>et al.</i> , 2021).....	35
4. Diagram pinout mikrokontroler ESP32(Fahmi & Kurniawan, 2025).....	40
5. Rangkaian sensor kelembapan tanah (Junaidi & Ramadhani, 2024).....	42
6. <i>Schematic</i> sensor kelembapan suhu DHT22 (Wahyudi <i>et al.</i> , 2025).....	44
7. <i>Schematic</i> sensor hujan (Components101, 2024).	45
8. <i>Schematic</i> relay dan pompa air (Wahyudi <i>et al.</i> , 2025).	47
9. Arsitektur <i>Node-RED</i> pada sistem manufaktur.	48
10. Arsitektur <i>arduino IDE</i> (Rumetna <i>et al.</i> , 2022).	49
11. Arsitektur <i>cloud server</i> (Rumetna <i>et al.</i> , 2022).	50
12. Waktu Penelitian.	53
13. Diagram alir penelitian.....	54
14. Metode penelitian ADDIE(Gunawan <i>et al.</i> , 2025).....	55
15. Sistem irigasi otomatis bawang merah berbasis <i>IoT</i> dan <i>Node-RED</i>	58
16. <i>Wiring diagram</i> sistem.	60
17. Diagram blok sistem.	61
18. Tahapan inialisasi perangkat.....	62
19. Tahapan akuisi data.	63
20. Tahapan <i>rule base defuzzyfikasi</i>	64
21. Tahapan menampilkan ke <i>node red</i>	65
22. Fungsi keanggotaan kelembapan tanah.....	69

23. Fungsi keanggotaan suhu udara.	69
24. Rangkaian sistem <i>prototype</i>	74
25. Kondisi lahan pertanian bawang merah.	74
26. Peletakan sensor pada area tanaman bawang merah.	75
28. Implementasi (<i>Rule Base</i>) Logika <i>Fuzzy Sugeno</i> dalam Bahasa C++.	76
29. Logika kendali utama (<i>Main Loop</i>).	77
30. Tampilan <i>dashboard monitoring</i> sistem mobile.	79
31. Alur program (<i>flow</i>) <i>Node-RED</i>	80
32. Peta titik pengambilan data di lahan penelitian.	85
33. Timestamp pengiriman data pada <i>dashboard node-red</i> pengujian <i>QoS</i>	89
34. Grafik respons sistem irigasi otomatis pada 5 titik sensor.	92

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1 Penelitian Terdahulu.....	26
2 frekuensi penyiraman bawang merah berdasarkan fase hst.....	36
3 Spesifikasi Sensor Kelembaban Tanah.	43
4 Spesifikasi Sensor <i>DHT22</i>	44
5 Spesifikasi Sensor Hujan.....	46
6 Jadwal waktu penelitian.....	53
7 Identifikasi kelembaban tanah sebelum dan setelah penyiraman.	59
8 Perangkat keras.	66
9 Perangkat lunak.....	66
10 Parameter variabel <i>fuzzy</i>	68
11 Himpunan <i>fuzzy</i> kelembapan tanah.....	68
12 Himpunan <i>fuzzy</i> suhu udara.	69
13 Aturan <i>fuzzy (rule base)</i> sistem penyiraman otomatis.....	70
14 Parameter <i>output</i> perhitungan <i>fuzzy</i>	71
15 Data tabel kalibrasi sensor <i>soil moisture</i>	82
16 Data tabel kalibrasi sensor kelembapan tanah (<i>DHT22</i>).....	83
17 Klasifikasi kondisi tanah.	84
18 Kalibrasi sensor hujan.....	85
19 Hasil pengujian integrasi sistem.	88
20 Hasil pengujian quality of service (qos) pengiriman data mqtt.	89
21 Data pengujian respon sistem dilahan bawang merah.	90
22 rangkuman analisis keunggulan dan keterbatasan sistem.	94

23	Tabel Penggunaan Air Konvensional (Petani Manual) Selama Seminggu.....	93
24	Estimasi Penggunaan Air Menggunakan Sistem Irigasi Cerdas Berbasis IoT Selama Satu Minggu.....	96
25	Perbandingan Tingkat Efisiensi Sistem Konvensional versus Sistem Irigasi Berbasis IoT.....	98
26	Estimasi Konsumsi Energi Perangkat IoT (<i>Prototype</i>) Selama Satu Minggu.....	99
27	Ringkasan implementasi dan evaluasi sistem irigasi berbasis iot.....	100
28	Instrumen Wawancara Analisis Kebutuhan Sistem <i>IoT</i> Pertanian.....	113

DAFTAR SINGKATAN

- ADC : *Analog to Digital Converter*
- DHT22 : *Digital Humidity and Temperature Sensor*
- ESP32 : Modul mikrokontroler dengan Wi-Fi dan Bluetooth
- GPIO : *General Purpose Input/Output*
- IDE : *Integrated Development Environment*
- IoT : *Internet of Things*
- MQTT : *Message Queuing Telemetry Transport*
- PCB : *Printed Circuit Board*
- TCP/IP : *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*
- Wi-Fi : *Wireless Fidelity*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Lampung merupakan salah satu daerah dengan potensi pertanian yang besar di Pulau Sumatera. Sebagian besar masyarakat di wilayah ini menggantungkan perekonomiannya pada sektor pertanian, baik melalui pengelolaan lahan sawah maupun tegalan. Kondisi geografis dan iklim yang mendukung menjadikan Lampung sebagai wilayah yang memiliki peluang kuat dalam pengembangan berbagai komoditas pertanian. Dalam keberlanjutan budidaya dan efisiensi pemanfaatan sumber daya menjadi aspek penting agar sektor pertanian tidak hanya bersifat *subsisten*, tetapi mampu memberikan kontribusi terhadap peningkatan kesejahteraan petani, ketahanan pangan, serta pelestarian lingkungan.

Komoditas bawang merah memiliki nilai ekonomi tinggi dan menjadi unggulan di Provinsi Lampung adalah bawang merah. Komoditas ini menunjukkan permintaan pasar yang stabil, dengan harga jual mencapai Rp.35.550 per kilogram pada tahun 2025 (lampungprov, 2025). Berdasarkan (Badan Pusat Statistik Kabupaten Pringsewu, 2025) Luas lahan pertanian bukan sawah di wilayah tersebut mencapai 32.853 hektare dengan produktivitas rata-rata 73,63 kuintal per hektare. Luas panen tanaman sayuran dan buah-buahan semusim, termasuk bawang merah, terus mengalami peningkatan dari setiap tahun. Dari data yang diperoleh pengembangan budidaya bawang merah telah dilaksanakan. potensi peningkatan produktivitas dan efisiensi pengelolaan lahan masih sangat terbuka. Pengelolaan budidaya bawang merah, termasuk sistem irigasi, yang masih dilakukan secara tradisional, sehingga efisiensinya rendah dan rentan terhadap

perubahan kondisi lingkungan seperti curah hujan, suhu, dan kelembapan yang semakin tidak menentu akibat perubahan iklim.

Kondisi yang ada dilokasi penelitian budidaya bawang merah di Kelompok Tani Desa Wonodadi, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu masih dilakukan secara konvensional, sehingga pengaturan waktu dan volume pengairan belum sepenuhnya terukur. Keadaan tersebut berpotensi mempengaruhi hasil panen, karena irigasi berlebih dapat menyebabkan pembusukan umbi dan pemborosan air, sedangkan kekurangan air dapat menimbulkan stres tanaman, pengecilan umbi, serta penurunan produktivitas. Pemantauan kelembapan tanah, suhu, dan kondisi lingkungan lainnya juga masih dilakukan secara tradisional, sehingga membutuhkan waktu, tenaga, dan bergantung pada pengalaman petani. Disisi lain, pola cuaca yang tidak menentu akibat perubahan iklim meningkatkan kebutuhan akan sistem pengelolaan air yang lebih akurat, peluang untuk meningkatkan efisiensi irigasi melalui penerapan teknologi berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mampu melakukan pemantauan *real-time* dan pengendalian air secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman.

Teknologi *Internet of Things (IoT)* dalam pertanian menawarkan pendekatan yang lebih adaptif dalam pengelolaan irigasi. IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor lingkungan untuk memantau kelembapan tanah, suhu, dan kondisi mikroklimat secara *real time*, serta menghubungkannya dengan sistem pengendalian otomatis yang dapat diakses melalui perangkat digital. Dengan mekanisme ini, proses pemberian air dapat diatur secara lebih terukur sesuai kebutuhan tanaman, sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Penerapan *IoT* dalam sistem irigasi juga membuka peluang peningkatan produktivitas, penghematan sumber daya, dan penguatan praktik budidaya yang berkelanjutan.

Dari permasalahan yang saya dapatakan selama dilapangan, penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem monitoring dan pengendalian irigasi berbasis *Internet of*

Things (IoT) untuk budidaya bawang merah di Desa Wonodadi, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu. Sistem ini dirancang untuk memantau kondisi lingkungan secara *real time* dan mengatur distribusi air secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mendukung produktivitas budidaya. Implementasi teknologi ini diharapkan tidak hanya memperkuat praktik pertanian yang lebih presisi dan berkelanjutan, tetapi juga sejalan dengan arah pembangunan pertanian di Provinsi Lampung yang mendorong modernisasi dan peningkatan nilai tambah sektor pertanian.

Penerapan teknologi berbasis *Internet of Things (IoT)* menjadi salah satu alternatif dalam mendukung pengelolaan irigasi yang lebih terukur. Oleh karena itu, penelitian sistem monitoring irigasi lahan pertanian berbasis IoT diharapkan dapat meningkatkan pengelola irigasi Dikelompok Tani bawang merah Desa Wonodadi, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan penelitian ini bagaimana merancang sistem monitoring irigasi berbasis *Internet Of Things (IoT)* menggunakan metode logika *fuzzy Sugeno* secara efektif untuk meningkatkan efisiensi penyiraman air pada lahan pertanian bawang merah kelompok tani Desa Wonodadi?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk menghasilkan rancangan sistem monitoring irigasi berbasis *Internet Of Things (IoT)* menggunakan metode logika *fuzzy Sugeno* dan untuk meningkatkan efisiensi penyiraman air pada lahan pertanian bawang merah kelompok tani Desa Wonodadi.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam perancangan sistem ini diberikan ruang lingkup masalah sebagai berikut

- 1) Sistem ini memerlukan koneksi internet untuk mengirim dan menerima data secara *daring*.
- 2) Sistem menggunakan logika *fuzzy Sugeno* sebagai pengendali otomatis proses waktu penyiraman.
- 3) Sistem menggunakan sensor kelembapan tanah, sensor suhu (*DHT22*), dan sensor hujan untuk memperoleh data kondisi lahan secara real-time.

1.5 Manfaat Penelitian

- 1) Meningkatkan hasil panen bawang merah melalui penerapan teknologi *IoT* hemat air.
- 2) Mengoptimalkan penggunaan air dalam proses budidaya tanaman bawang merah.
- 3) Meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam penggunaan teknologi pertanian modern.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Berikut merupakan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya untuk dijadikan sebagai acuan dan pembandingan dalam penelitian yang dilakukan.

Tabel 1 Penelitian Terdahulu.

No	Judul / Sumber	Teknologi yang Digunakan	Hasil
1	Alat Penyiram Tanaman Berbasis Menggunakan <i>NodeMCU ESP8266</i> – <i>Blynk</i> (IoT), <i>Arduino IDE</i> (JBI), Universitas Lampung (Pulungan & Allwine, 2024)	<i>NodeMCU ESP8266</i> , Sistem IoT Sensor YL-69, Relay, LCD 16x2, Aplikasi berdasarkan data sensor kelembapan tanah. Sensor YL-69 mendeteksi kelembapan <40% dan mengaktifkan pompa air secara otomatis melalui <i>NodeMCU</i> . Data hasil pembacaan ditampilkan pada LCD serta aplikasi Blynk secara real-time. Sistem ini menunjukkan integrasi yang baik antara perangkat keras dan <i>platform</i> IoT serta meningkatkan efisiensi penggunaan air.	berhasil melakukan penyiraman tanaman otomatis berdasarkan data sensor kelembapan tanah. Sensor YL-69 mendeteksi kelembapan <40% dan mengaktifkan pompa air secara otomatis melalui <i>NodeMCU</i> . Data hasil pembacaan ditampilkan pada LCD serta aplikasi Blynk secara real-time. Sistem ini menunjukkan integrasi yang baik antara perangkat keras dan <i>platform</i> IoT serta meningkatkan efisiensi penggunaan air.
2	<i>Enhancing Water IoT, Management in Smart Computing, Agriculture: A Cloud and IoT-Based Smart Irrigation System – Proceeding of 2021 the 7th International Conference on Wireless</i>	Water IoT, Cloud Kelembapan Suhu	<i>Cloud Sensor</i> Sistem berhasil menghemat penggunaan air hingga 40% dan meningkatkan efisiensi energi melalui pengelolaan berbasis <i>cloud</i> . Keterbatasannya terletak pada ketergantungan terhadap koneksi internet. Perhitungan <i>Output</i> (Sugeno) t berkecepatan tinggi yang tidak

No	Judul / Sumber	Teknologi yang Digunakan	Hasil
	<i>and Telematics (ICWT 2021)</i>		selalu tersedia di daerah pedesaan.
3	<i>Optimizing Plant IoT, Fuzzy Sugeno Watering Efficiency via Logic, IoT: Fuzzy Sugeno Microcontroller, Method with ESP8266 Web Server – Ben Rahman et al., 2024</i>	Plant IoT, Fuzzy Sugeno ESP8266, NodeMCU ESP8266 Database (PHPMyAdmin), Arduino IDE, Python	Sistem penyiraman otomatis dikembangkan menggunakan ESP8266 dengan metode Fuzzy Sugeno untuk menentukan keputusan penyiraman berdasarkan data sensor kelembapan tanah (YL-69) dan suhu (DHT-11). Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu mengontrol pompa air secara otomatis dengan tingkat kesalahan rendah (0,0375), efisien dalam penggunaan air, serta terintegrasi dengan website pemantauan berbasis database lokal. Pengujian <i>blackbox</i> dan akurasi sensor menunjukkan kinerja stabil dengan selisih error kelembapan 6,47% dan suhu 0,675%. Implementasi berhasil pada tanaman bayam dengan sistem beroperasi optimal selama 60 hari uji coba.
4	Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Logika Fuzzy Sugeno untuk Pengendalian Kelembaban Tanah di <i>Greenhouse</i> – Khoirul Azmi Saragih & Rakhmat Kurniawan, 2025	Penyiraman ESP8266, Sensor Kelembapan Tanah, DHT11, RTC, Relay, suhu dan kelembapan tanah untuk Firebase, Aplikasi Android	Sistem mampu menyesuaikan durasi penyiraman berdasarkan suhu dan kelembapan tanah dengan metode Fuzzy Sugeno. Dapat dikontrol via Android secara <i>real-time</i> dan meningkatkan efisiensi air hingga 25% serta akurasi 90%.
5	Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Logika Fuzzy – Journal <i>Solenoid Valve</i> , LCD	Penyiraman <i>Arduino Uno</i> , Sensor DHT-22 (suhu dan kelembapan), berbasis logika fuzzy yang menggunakan dua parameter	Penelitian ini mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis logika fuzzy yang menggunakan dua parameter

No	Judul / Sumber	Teknologi yang Digunakan	Hasil
	of Applied Electrical Display, Engineering, Politeknik Negeri Batam (Budi Sugandi & Jeki Armentaria, 2021)	Metode utama, yaitu suhu udara dan kelembapan tanah. Sistem menghasilkan output berupa durasi waktu penyiraman otomatis dalam empat kategori: sangat cepat (15 detik), cepat (30 detik), sedang (45 detik), dan lama (60 detik).	

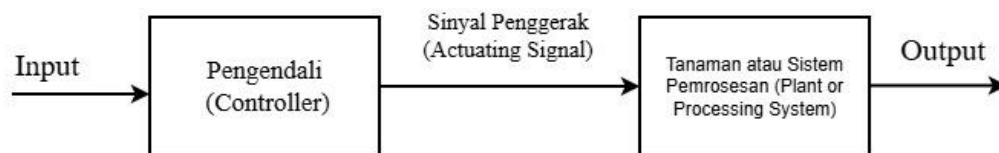
2.2 Pengertian Sistem

Sistem objek yang saling berhubungan, seperti manusia, sumber daya, dan prosedur, yang bekerja bersama untuk menjalankan fungsi tertentu dan menghasilkan keluaran berupa informasi (Pedro *et al.*, 2022). Sistem informasi terdiri dari input berupa data dan instruksi, proses pemrosesan, serta *output* berupa laporan dan hasil kalkulasi yang disampaikan kepada pengguna atau sistem lain (Ramadhan *et al.*, 2025). Integrasi sensor pintar dan *Internet of Things (IoT)* dalam pertanian presisi memungkinkan pemantauan dan pengelolaan sumber daya secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem pertanian (Mansoor *et al.*, 2025). Teknologi digital seperti *IoT* dan sensor telah menjadi solusi utama dalam pengelolaan air pertanian, karena mampu mengoptimalkan penggunaan air melalui pemantauan otomatis dan pengambilan keputusan berbasis data (Parra-López *et al.*, 2025). Implementasi sistem irigasi otomatis berbasis *IoT* untuk pertanian *greenhouse* memanfaatkan sensor kelembapan tanah dan mikrokontroler untuk menciptakan kontrol *tertutup (closed-loop)* yang secara otomatis menyesuaikan penyiraman sesuai kebutuhan tanaman (Wahyudi *et al.*, 2025).

2.2.1 Sistem Kontrol Terbuka

Sistem yang melakukan pengendalian berdasarkan sinyal masukan tanpa memperhatikan hasil keluarannya. Dalam penelitian (Jesus *et al.*, 2025), dalam sistem

ini tidak terdapat mekanisme umpan balik (*feedback*), sehingga pengendali tidak dapat memperbaiki kesalahan yang mungkin terjadi selama proses berlangsung. Hal ini sejalan dengan temuan (Yang *et al.*, 2024), yang menyatakan bahwa sistem tanpa umpan balik waktu nyata (*real-time sensory feedback*) tidak mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan atau gangguan selama operasi, sehingga efektivitas fungsinya menjadi terbatas. (Schöning, Julius; Pfisterer, 2023), menyebutkan sistem ini memiliki keterbatasan karena tidak dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan atau gangguan yang muncul selama operasi. Arsitektur sistem kontrol terbuka disajikan pada gambar 1.



Gambar 1 Sistem kontrol terbuka (*Open Loop Control System*).

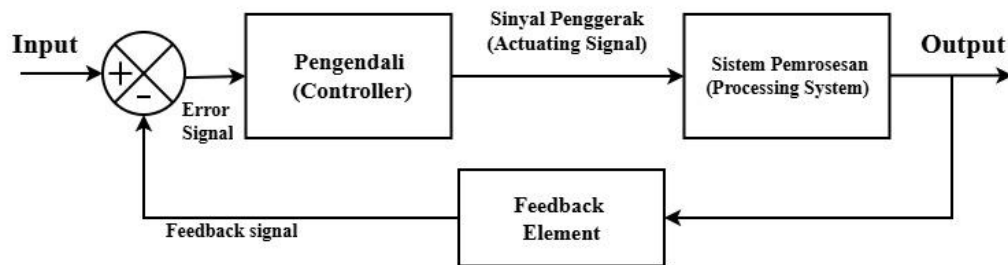
Pada sistem ini, pengendali (*controller*) menghasilkan sinyal penggerak (*actuating signal*) yang dikirim ke tanaman atau sistem pemrosesan (*plant or processing system*) untuk menghasilkan keluaran (*output*) (Bassi *et al.*, 2022), Namun, keluaran tersebut tidak dibandingkan kembali dengan masukan yang diinginkan sehingga sistem tidak dapat mengoreksi kesalahan secara otomatis.

Hal ini sesuai dengan pandangan (García-samartín *et al.*, 2024), yang menyatakan bahwa sistem kontrol terbuka hanya efektif bila model sistem diketahui dengan pasti dan pengaruh gangguan dari luar relatif kecil.

2.2.2 Sistem Kontrol Tertutup

Mekanisme umpan balik (*feedback*) yang memungkinkan keluaran dibandingkan dengan masukan untuk menghasilkan sinyal kesalahan (*error signal*) (Pramudya & Andromeda, n.d.). Sinyal kesalahan ini kemudian digunakan oleh pengendali untuk

menyesuaikan aksi kontrol agar keluaran mendekati nilai yang diinginkan (Prasetyo & Siradjuddin, 2021), Dalam artikel (Schöning, Julius; Pfisterer, 2023), juga menunjukkan bahwa mekanisme umpan balik dalam sistem kontrol tertutup mampu meningkatkan ketepatan proses manufaktur dengan cara melakukan deteksi kesalahan dan koreksi secara *real time* selama proses berlangsung. Selain itu (Abdul-adheem, 2020), menjelaskan bahwa sinyal kesalahan yang dihasilkan dari perbandingan antara masukan referensi dan keluaran sistem akan menjadi pengendali menjadi sinyal penggerak untuk mengatur sistem pemrosesan. Sistem kontrol tertutup memiliki kemampuan untuk mempertahankan kestabilan dan kinerja sistem meskipun terdapat gangguan eksternal (Abdul-adheem, 2020). Arsitektur sistem kontrol tertutup disajikan pada gambar 2.



Gambar 2 Sistem kontrol tertutup (*Closed Loop Control System*).

Gambar 2 menjelaskan komparator membandingkan nilai masukan dengan sinyal umpan balik yang berasal dari keluaran sistem. Hasil perbandingan menghasilkan sinyal kesalahan, yang kemudian diolah oleh pengendali menjadi sinyal untuk mengatur sistem pemrosesan. Selanjutnya, keluaran yang dihasilkan akan diukur kembali oleh elemen umpan balik (*feedback element*) untuk dikirimkan ke komparator.

2.3 Sistem Monitoring

Mekanisme yang digunakan untuk memantau, mengawasi, dan mengendalikan kondisi suatu objek, proses, atau lingkungan secara terus-menerus dan terukur. Tujuan

utamanya adalah memperoleh data yang akurat agar dapat dilakukan analisis terhadap kinerja, perubahan, serta potensi gangguan yang terjadi. Penelitian lain (Wahyu Aji, Pulungan; Fahrur Riza, 2025), sistem monitoring berperan penting dalam memantau kelembapan tanah untuk menjaga ketersediaan air bagi tanaman secara efisien. (Allwine, Wahyu Aji Pulungan, 2024), menambahkan bahwa sistem ini dapat dikembangkan menjadi alat penyiraman otomatis ketika kelembapan tanah menurun di bawah batas tertentu. Selain itu, (Jianhong *et al.*, 2020), menjelaskan bahwa teknologi monitoring modern menggunakan sensor presisi untuk menghasilkan data akurat secara waktu nyata (*real-time*). (Mansoor *et al.*, 2025) juga menyatakan bahwa integrasi sensor pintar dengan teknologi *Internet Of Things (IoT)* memungkinkan sistem monitoring mengukur suhu, kelembapan, pH, dan nutrisi tanah secara otomatis dan berkelanjutan. Hasil serupa disampaikan oleh (Zhang *et al.*, 2024), bahwa sistem monitoring berbasis *IoT* mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk melalui pemantauan jarak jauh dan pengendalian otomatis. Sistem monitoring modern tidak berfungsi untuk mengamati saja, tetapi juga dapat melakukan deteksi dini dan pengendalian otomatis agar proses berjalan lebih efisien dan berkelanjutan.

2.4 Pertanian dan Irigasi

Sektor yang memiliki peran dominan dalam pertumbuhan ekonomi serta penyediaan bahan pangan kerja bagi masyarakat. Aktivitas pertanian tradisional menghadapi tantangan besar akibat perubahan iklim, degradasi lahan, dan keterbatasan sumber daya air. Penelitian (Srihidayati *et al.*, 2022), menyatakan Sektor pertanian berpengaruh positif dan signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi daerah karena dapat meningkatkan pendapatan dan mengurangi pengangguran melalui pemanfaatan sumber daya alam secara optimal. Penelitian lain (Afriyanti *et al.*, 2023), Menyebutkan sektor pertanian memiliki peran yang sangat penting dalam pembangunan ekonomi nasional maupun daerah karena berfungsi sebagai penyedia ketahanan pangan, alat

pengentasan kemiskinan, penyedia lapangan pekerjaan, serta sumber pendapatan masyarakat.

Pengelolaan irigasi bertujuan untuk memenuhi kebutuhan tanaman selama masa pertumbuhan agar produksi pertanian tetap stabil dan optimal (Malik *et al.*, 2022), Proses tersebut dilakukan dengan mengatur ketersediaan air di lahan pertanian sehingga kondisi tanah selalu berada dalam tingkat kelembapan yang sesuai bagi tanaman. Irigasi tidak hanya berfungsi sebagai sarana pemberian air saat musim kemarau, tetapi juga berperan dalam menjaga keseimbangan air di lahan pertanian pada saat curah hujan berlebih. Penelitian (Bwambale *et al.*, 2022), irigasi penerapan air secara buatan kepada tanaman untuk menyediakan kelembapan yang diperlukan, di mana efisiensi penggunaan air dapat ditingkatkan melalui integrasi *Geographical Information Systems (GIS)* dan *Remote Sensing (RS)* guna memantau kebutuhan air tanaman, kesesuaian lahan, serta penjadwalan irigasi secara spasial. (Premkumar, 2022), menekankan bahwa penerapan sistem irigasi berbasis *Internet Of Things (IoT)* mampu melakukan pemantauan kondisi lahan secara *real-time*, mengatur volume air sesuai kebutuhan, dan mengurangi pemborosan energi melalui proses otomatisasi.

2.4.1 Sistem Irigasi

Metode untuk menyalurkan air dari sumbernya ke lahan pertanian (seperti sungai, waduk, atau sumur) agar tanaman mendapat cukup air. Tujuannya untuk menjaga kelembapan tanah, mendukung pertumbuhan tanaman, dan meningkatkan hasil panen, terutama saat musim kemarau atau ketika curah hujan tidak mencukupi. Penelitian (Dominika *et al.*, 2025), menjelaskan irigasi suatu proses pemberian air secara terukur melalui suatu sistem yang menyalurkan air langsung ke akar tanaman, dengan tujuan efisiensi penggunaan air serta mendukung pertanian yang hemat dan ramah lingkungan Sedangkan di penelitian lain (Wahyu Aji, Pulungan; Fahrur Riza, 2025), sistem irigasi membantu menjaga ketersediaan air di sekitar perakaran tanaman dan mencegah kekeringan pada musim kemarau melalui pengaturan distribusi air yang tepat.

Sementara itu, (Heryanto *et al.*, 2025), menyebutkan bahwa irigasi bagian dari pengelolaan sumber daya air yang dilakukan dengan membangun saluran dan jaringan pengairan untuk memenuhi kebutuhan pertanian, perikanan, serta kehidupan masyarakat secara berkelanjutan. (Lakhiar *et al.*, 2024), menyebutkan penerapan teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil panen dengan meminimalkan pemborosan sumber daya. Hal serupa diungkapkan (Ali *et al.*, 2025), bahwa penggunaan sistem irigasi pintar memungkinkan pemantauan kondisi tanah dan cuaca secara *real-time*, sehingga pemberian air menjadi lebih tepat dan efisien.

2.4.2 Jenis dan Pola Irigasi

Sistem irigasi dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu irigasi *permukaan (surface irrigation)*, irigasi tetes (*drip irrigation*), irigasi curah (*sprinkler irrigation*), dan irigasi bawah permukaan (*subsurface irrigation*) (Lakhiar *et al.*, 2024). Setiap jenis memiliki keunggulan dan penerapan yang berbeda tergantung pada kondisi tanah dan kebutuhan tanaman. Dalam penelitian (Holzapfel *et al.*, 2022), irigasi permukaan banyak digunakan pada sistem tradisional, sedangkan sistem bertekanan seperti *sprinkler* dan tetes lebih efisien karena mampu menyalurkan air langsung ke akar tanaman. (Arbat & Masseroni, 2024), menambahkan bahwa penerapan irigasi modern, seperti otomatisasi dan sistem berbasis sensor, dapat meningkatkan efisiensi air hingga 90%. Sementara itu, (Ali *et al.*, 2025), menjelaskan bahwa integrasi teknologi pintar seperti *Internet Of Things (IoT)*, sensor kelembapan, dan pengendalian berbasis data telah melahirkan pola irigasi baru yang bersifat bergilir, kontinu, dan otomatis, yang mampu menyesuaikan jadwal pengairan secara *real time* untuk menjaga efisiensi dan produktivitas pertanian. penelitian terbaru oleh (Samarth *et al.*, 2025), bahwa penerapan sistem irigasi berbasis IoT dan tenaga surya didukung dengan prediksi curah hujan mampu meningkatkan efisiensi air sekaligus mendukung pertanian berkelanjutan di wilayah dengan ketersediaan air terbatas.

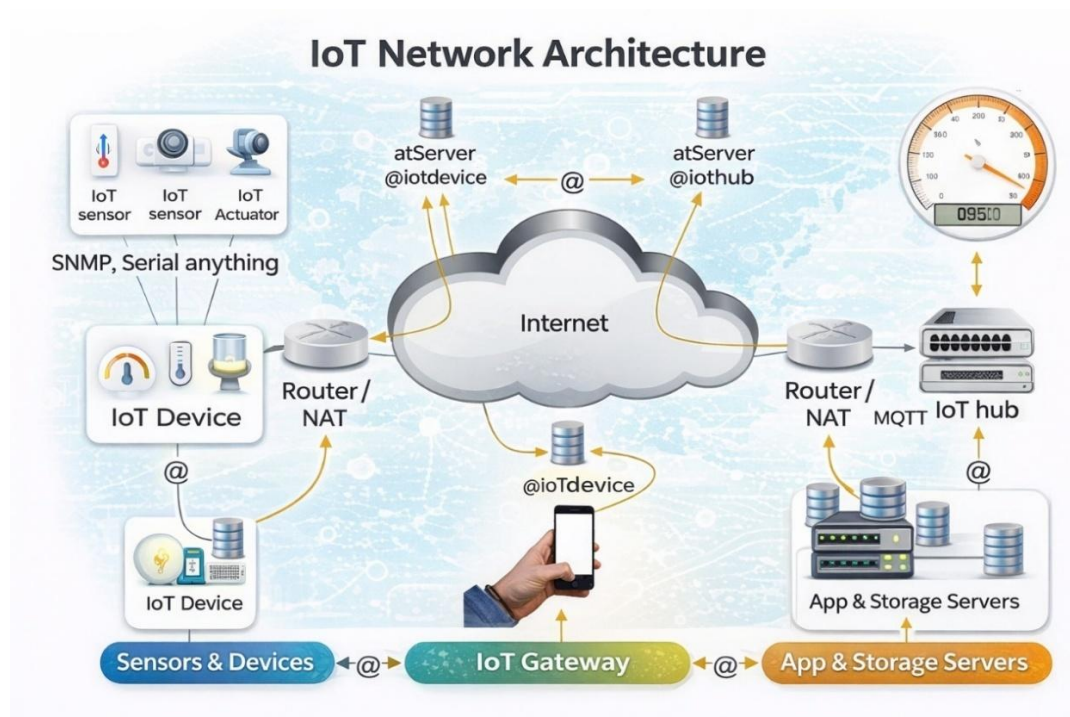
2.4.3 Efisiensi Penggunaan Air dalam Pertanian

Komponen vital bagi pertumbuhan tanaman, karena berperan langsung dalam proses fotosintesis dan menjaga kelembapan tanah. Tanpa air yang cukup, produktivitas tanaman tidak akan maksimal (Wahyu Aji Pulungan, 2024). Selain itu, efisiensi penggunaan air menjadi aspek penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan, terutama di tengah keterbatasan sumber daya air. Penelitian (Lakhiar *et al.*, 2024), penerapan irigasi presisi berbasis sensor dan sistem kontrol otomatis dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air sekaligus hasil panen melalui pengaturan air sesuai kebutuhan tanaman. (Parra-lópez *et al.*, 2025), menambahkan bahwa integrasi teknologi digital seperti *Internet Of Things (IoT)* dan kecerdasan buatan mampu memantau mengatur irigasi secara *real time* untuk mengurangi pemborosan air. Sementara itu, (Abdelmoneim *et al.*, 2025), menjelaskan bahwa sistem irigasi berbasis cuaca dan sensor lingkungan terbukti mampu menyesuaikan jadwal penyiraman secara otomatis sesuai kondisi iklim dan kebutuhan tanaman, sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian (Alharbi *et al.*, 2024), teknologi seperti penampungan air hujan dan pemantauan tanah dapat membantu menghemat air dan menjaga produktivitas pertanian.

2.5 *Internet Of Things (IoT)*

Teknologi informasi yang menggambarkan konsep keterhubungan antara berbagai objek fisik (*things*) dengan jaringan Internet (Elgazzar *et al.*, 2022). Keterhubungan ini, setiap objek dapat saling berkomunikasi, bertukar data, serta berinteraksi secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung. IoT memanfaatkan infrastruktur Internet berbasis protokol *TCP/IP* untuk menghubungkan berbagai benda nyata seperti sensor, mesin, kendaraan, perangkat rumah tangga, maupun makhluk hidup seperti manusia, hewan, dan tanaman (Junaidi & Ramadhani, 2024). Setiap perangkat memiliki identitas unik serta kemampuan untuk mengumpulkan, mengolah, dan berbagi informasi secara *real-time*. Dengan demikian, *IoT* tidak hanya berfungsi

sebagai jaringan komunikasi, tetapi juga sebagai ekosistem cerdas yang mengintegrasikan dunia fisik dengan dunia digital melalui sensor, aktuator, dan layanan berbasis komputasi awan (Manuhutu *et al.*, 2025). Dalam penelitian (Choudhary, 2024), IoT berkembang sebagai paradigma baru yang menyatukan teknologi komunikasi dan komputasi untuk memungkinkan perangkat fisik berinteraksi secara otomatis dalam mendukung efisiensi dan pengambilan keputusan berbasis data. (Aouedi *et al.*, n.d.), menambahkan sistem cerdas yang memanfaatkan sensor, kecerdasan buatan, dan analisis data untuk menciptakan lingkungan digital yang dapat beradaptasi dan merespons kondisi dunia nyata secara cepat dan efisien. Arsitektur *IoT* disajikan pada gambar 3.



Gambar 3 *Internet of things* (Subiksa *et al.*, 2021).

2.6 Tanaman Bawang Merah

Komoditas hortikultura Bawang merah (*Allium cepa L.*) bernilai ekonomi tinggi dan berperan penting bagi kebutuhan pangan serta kesejahteraan petani di Indonesia. Tanaman ini mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti *flavonoid*, fenolik, sulfur, dan auksin yang berfungsi dalam pertumbuhan serta ketahanan terhadap stres lingkungan. Dalam penelitian lain (Rajeswari, 2024), ekstrak etanolik *Allium cepa L.* menunjukkan aktivitas antioksidan tinggi karena kandungan *flavonoid* dan fenolik yang melimpah, sehingga berpotensi sebagai sumber senyawa bioaktif alami. Hasil penelitian (Castro-cegrí *et al.*, 2025) menunjukkan bahwa kadar fenolik bawang merah meningkat saat terjadi defisiensi nutrisi, yang memperkuat respons fisiologis terhadap stres dan meningkatkan kualitas umbi. Selain itu, (Gupta *et al.*, 2025) mengemukakan bahwa senyawa organosulfur dan anti-inflamasi yang terdapat dalam *Allium cepa L.* berperan penting dalam perlindungan sel dan aktivitas farmakologisnya. Secara agronomis, tanaman ini tumbuh optimal pada suhu 25–32 °C di dataran rendah hingga 500 m dpl, dengan tanah gembur dan drainase baik (Gea *et al.*, 2025) bawang merah berfungsi tidak hanya sebagai bahan pangan utama, tetapi juga sebagai tanaman fungsional yang mendukung pertanian berkelanjutan di Indonesia.

Tabel 2 frekuensi penyiraman bawang merah berdasarkan fase hst.

Fase HST (Hari Setelah Tanam)	Karakteristik Tanaman	Kelembaban Bawang Merah	Kebutuhan Air	Frekuensi Penyiraman di Lapangan	Keterangan
0 – 10 HST	Fase awal pertumbuhan, bibit baru beradaptasi	70% – 80%	Tinggi	1 kali per hari	Menjaga tanah tetap lembap, tidak boleh atau sesuai tergenang kondisi tanah
10 – 40 HST	Fase pertumbuhan vegetatif + pembentukan daun	60% – 70%	Sedang hingga tinggi	2–3 hari sekali	Penyiraman disesuaikan dengan kondisi tanah: tanah cepat

Fase HST (Hari Setelah Tanam)	Karakteristik Tanaman	Kelembaban Bawang Merah	Kebutuhan Air	Frekuensi Penyiraman di Lapangan	Keterangan
					kering → 2 hari sekali; tanah liat → 3 hari sekali
40 – 55 HST	Fase pembesaran umbi	50% – 60%	Sedang	3 hari sekali	Harus menghindari penyiraman berlebih agar umbi tidak busuk
55 – 60 HST (menjelang panen)	Fase pematangan umbi	< 40%	Rendah	Penyiraman dihentikan 7– 10 hari sebelum panen	Menghindari kadar air berlebih agar umbi tidak berair

Penelitian ini berfokus pada fase 10 – 40 *HST* di mana penyiraman dilakukan setiap 2–3 hari sekali sesuai kondisi tanah.

2.7 Metode Fuzzy

Pendekatan di *soft computing* yang digunakan untuk memetakan hubungan antara input dan output berdasarkan teori himpunan *fuzzy*, di mana setiap elemen memiliki derajat keanggotaan antara 0 hingga 1 (Kumar, 2023). Pendekatan ini memungkinkan pengolahan data yang bersifat tidak pasti atau samar dengan menggunakan aturan logika berbentuk *IF-THEN* untuk menghasilkan keputusan yang mendekati cara berpikir manusia. Metode *fuzzy* memiliki keunggulan karena fleksibel, mudah dipahami, toleran terhadap ketidaktepatan data, serta mampu memodelkan fungsi non-linear yang kompleks (Lima *et al.*, 2025). Oleh karena itu, metode ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang seperti kesehatan, ekonomi, dan teknologi untuk mendukung proses pengambilan keputusan dan sistem kendali otomatis (Athiyah *et al.*,

2021), Konsep ini memungkinkan data linguistik seperti “tinggi”, “sedang”, atau “rendah” diterjemahkan ke bentuk numerik yang dapat diproses secara komputasional. metode *fuzzy* memiliki peran penting dalam menangani ketidakpastian dan ketidaktepatan data pada sistem kontrol, kecerdasan buatan, dan sistem pengambilan keputusan, metode yang berhubungan sebab-akibat tidak dapat dijelaskan secara biner tetapi dengan derajat keanggotaan (Tang & Ren, 2021), Pada metode *Sugeno*, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum dari setiap aturan, kemudian nilai tersebut digunakan untuk membentuk keluaran sistem berupa fungsi linear atau konstan, yang selanjutnya dikombinasikan menggunakan operator rata-rata tertimbang (*weighted average*) untuk menghasilkan output akhir (Josephine, 2025).

2.7.1 Fuzzy Sugeno

Salah satu pengembangan dari sistem logika *fuzzy* dikemukakan oleh *Takagi dan Sugeno (1985)*. Model ini digunakan untuk menggambarkan hubungan yang kompleks dan nonlinier antara variabel *input* dan *output* dengan pendekatan matematis yang lebih terukur (Al-hadithi, 2025), Dalam model setiap aturan berbentuk “*Jika x adalah A, maka $y = f(x)$* ”, di mana bagian *premise* dinyatakan dalam himpunan fuzzy dan bagian *consequent* berupa fungsi linier dari variabel input. Keunggulan utama dari Fuzzy Sugeno adalah kemampuannya menghasilkan keluaran yang halus dan mudah dioptimasi, sehingga banyak digunakan untuk identifikasi sistem, pengendalian, dan pemodelan berbagai proses dinamis (Takagi, T., & Sugeno, 1985), penelitian (Widia *et al.*, 2025), menunjukkan penerapan *Fuzzy Sugeno* dalam bidang lingkungan, khususnya dalam pengelolaan emisi gas metana pada tempat pembuangan akhir berbasis *Internet Of Things (IOT)*. Sistem tersebut mampu mengatur laju kipas secara otomatis berdasarkan kadar gas metana, sehingga mendukung pengendalian lingkungan yang lebih cerdas dan berkelanjutan. Pendekatan ini mampu menghubungkan sistem nonlinier dengan model linier sehingga memudahkan proses pengendalian dan analisis (Wang *et al.*, 2021),

Dalam penerapannya, model *Fuzzy Sugeno* membentuk sejumlah aturan yang berfungsi untuk menghubungkan nilai *input* dengan hasil keluaran sistem.

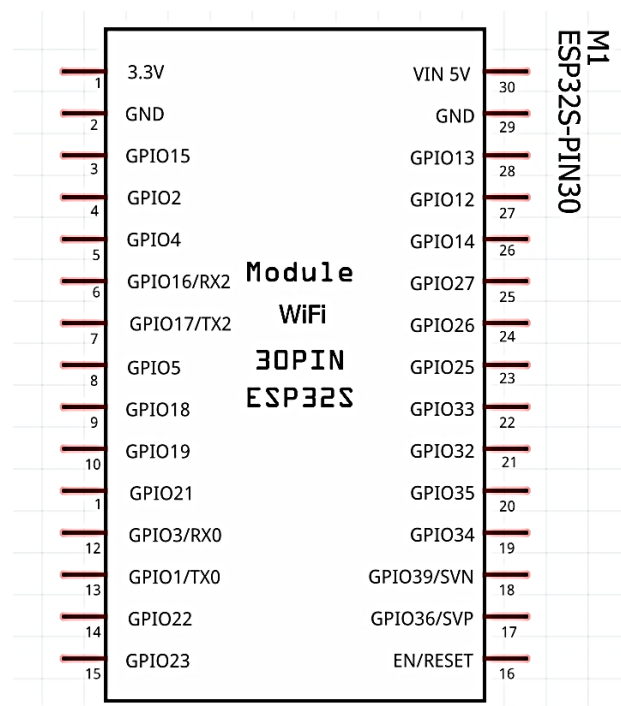
- 1) Fuzzifikasi
proses mengubah data input tegas menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy.
- 2) Inferensi
merupakan tahap penerapan aturan *IF-THEN* untuk menentukan hubungan antara *input dan output*.
- 3) Defuzzifikasi
mengubah hasil *inferensi fuzzy* menjadi nilai keluaran yang tegas atau *crisp output*.

2.8 NodeMCU ESP32

Mikrokontroler generasi terbaru yang dirancang dengan kemampuan konektivitas nirkabel berupa Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga sangat mendukung pengembangan sistem berbasis *Internet Of Things (IoT)*, Mikrokontroler ini merupakan penyempurnaan dari seri sebelumnya, yaitu ESP8266, dengan peningkatan signifikan pada kecepatan prosesor, jumlah *General Purpose Input Output (GPIO)*, serta efisiensi konsumsi daya. Peningkatan tersebut menjadikan *ESP32* lebih fleksibel dan andal untuk digunakan pada perangkat IoT yang membutuhkan respons cepat dan pengolahan data yang stabil (Fezari & Zakaria, 2020), Selain peningkatan hardware, *ESP32* juga dilengkapi dengan modul ADC dan prosesor ganda yang memungkinkan pengambilan data sensor secara real-time dengan tingkat kestabilan yang tinggi, sehingga cocok digunakan pada aplikasi monitoring maupun sistem berbasis jaringan sensor terintegrasi (Palomares-salas *et al.*, 2024),

Dalam implementasinya, ESP32 banyak dimanfaatkan sebagai pusat kendali pada sistem rumah pintar (*smart home*) maupun sistem otomasi lainnya karena

kemampuannya berfungsi sebagai *embedded IoT gateway*. Dukungan komunikasi Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi, serta konsumsi daya yang rendah, memungkinkan modul ini menjalankan protokol komunikasi ringan seperti *MQTT* secara efisien dan stabil (Serepas *et al.*, 2025). Selain itu, ESP32 juga menyediakan sejumlah antarmuka komunikasi seperti *SPI*, *I2C*, *UART*, dan *I2S* yang mempermudah integrasi dengan berbagai sensor maupun aktuator, sehingga memperluas cakupan penggunaannya dalam berbagai bidang, termasuk sistem kontrol, telemetri, dan perangkat cerdas berbasis jaringan terdistribusi (Palomares-salas *et al.*, 2024). Skema mikrokontroler disajikan pada gambar 4.



Gambar 4 Diagram pinout mikrokontroler *ESP32* (Fahmi & Kurniawan, 2025).

Gambar 4 merupakan diagram *pinout* dari modul mikrokontroler *ESP32* (varian 30 pin) yang berfungsi sebagai panduan dasar dalam perancangan perangkat keras. Diagram ini memetakan secara detail letak dan fungsi dari masing-masing kaki (pin) pada mikrokontroler, meliputi pin catu daya (seperti *3.3V*, *VIN 5V*, dan *GND*) serta pin

General Purpose Input/Output (GPIO) yang bertugas sebagai jalur komunikasi penerima dan pengirim sinyal.

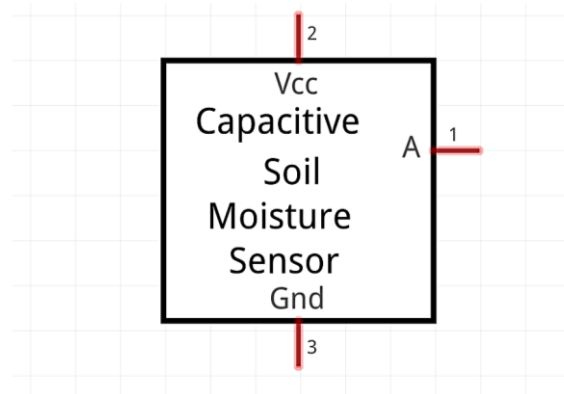
2.9 Sensor dan Aktuator

Komponen penting dalam sistem otomatisasi berbasis *Internet Of Things (IOT)*, di mana sensor berfungsi mendeteksi perubahan lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kondisi hujan yang kemudian diubah menjadi data digital untuk diproses mikrokontroler (Susanna, 2024), Sensor bekerja layaknya indera sistem untuk memberikan informasi real-time yang dibutuhkan dalam pengambilan keputusan otomatis (Wela *et al.*, 2025), sementara aktuator berperan mengeksekusi perintah seperti mengaktifkan pompa atau membuka katup irigasi berdasarkan data yang diperoleh. Pada sistem irigasi modern berbasis IoT, sensor kelembapan tanah dan cuaca menyediakan data akurat untuk mengatur penyiraman secara presisi sehingga dapat mencegah pemborosan air dan meningkatkan efisiensi lahan (Abdelmoneim *et al.*, 2026), Aktuator pompa bekerja otomatis untuk menyalurkan air sesuai kebutuhan tanaman, dikendalikan oleh mikrokontroler yang memproses data sensor melalui konektivitas nirkabel (Wahyudi *et al.*, 2025), Integrasi sensor dan aktuator memungkinkan sistem irigasi berjalan secara mandiri dan responsif terhadap kondisi lingkungan sehingga mendukung pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan (Mansoor *et al.*, 2025).

2.9.1 Sensor Kelembapan Tanah

Alat sensor kelembapan tanah kapasitif (*Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2*) digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kadar air yang terdapat di dalam tanah secara *real-time* sehingga dapat diketahui apakah tanah dalam kondisi kering, lembap, atau basah. Sensor ini bekerja dengan prinsip perubahan konduktivitas atau resistansi listrik; semakin banyak kadar air dalam tanah maka nilai resistansinya menurun. Berdasarkan hasil dari ketiga jurnal yang Anda berikan, sensor kelembapan tanah seperti *YL-69* sering digunakan karena mampu memberikan data yang akurat dan stabil

untuk kebutuhan pertanian berbasis IoT. Dalam penelitian (Wahyu Aji, Pulungan; Fahrur Riza, 2025), disebutkan bahwa sensor ini mengubah kadar air menjadi sinyal analog yang dibaca oleh mikrokontroler untuk dikirim ke server cloud secara otomatis. Sedangkan (Wahyu Aji Pulungan, 2024), menjelaskan bahwa ketika kelembapan tanah di bawah 40%, sensor YL-69 mengirimkan sinyal ke *NodeMCU* agar pompa air menyiram tanaman. Sementara itu, (Multazam, 2025), menjelaskan bahwa penggunaan sensor kelembapan tanah dalam sistem IoT membantu petani memantau kondisi lahan secara akurat sehingga penyiraman dan pemupukan dapat dilakukan lebih efisien. (Wahyudi *et al.*, 2025), juga menyebutkan bahwa sensor ini menjadi komponen penting dalam irigasi presisi karena mampu menyediakan data untuk menentukan waktu penyiraman yang tepat. Selain itu, (Mansoor *et al.*, 2025), melaporkan bahwa penerapan sensor kelembapan tanah pada sistem irigasi otomatis dapat menghemat air hingga 30% karena penyiraman hanya dilakukan ketika kondisi tanah benar-benar kering. Skema sensor kelembapan tanah disajikan pada gambar 5.



Gambar 5 Rangkaian sensor kelembapan tanah (Junaidi & Ramadhani, 2024).

Gambar 5 menampilkan skema koneksi dasar dari sensor kelembapan tanah tipe kapasitif (*Capacitive Soil Moisture Sensor*). Pada diagram tersebut, terdapat tiga jalur pin utama yang digunakan untuk integrasi ke mikrokontroler: pin Vcc sebagai jalur masuk suplai tegangan kelistrikan, pin Gnd (*Ground*) sebagai jalur arus negatif, dan pin A (*Analog Output*) yang bertugas mengirimkan sinyal data hasil pembacaan.

Tabel 3 Spesifikasi Sensor Kelembaban Tanah.

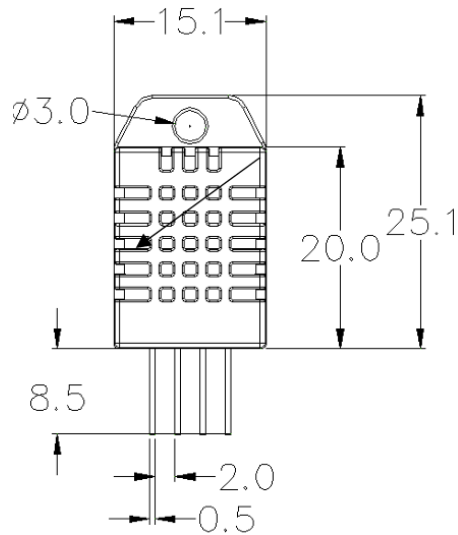
Aspek	Keterangan
Sensor	Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2
Prinsip Kerja	Perubahan kapasitansi akibat kadar air tanah
Output	Analog
Tegangan Kerja	3,3 V – 5,5 V
Parameter	Kelembaban tanah relatif

2.9.2 Sensor Suhu *DHT22*

Sensor digital mengukur suhu dan kelembapan udara secara bersamaan. Sensor ini bekerja dengan mengubah kondisi lingkungan menjadi data digital yang kemudian diproses oleh mikrokontroler seperti Arduino, Esp32 dll.

Berdasarkan penelitian (Syaifudin & Chamidah, 2023), *DHT22* terbukti efektif untuk memantau suhu dan kelembaban pada rumah penyimpanan tembakau dengan tingkat akurasi yang tinggi. (Yonatan *et al.*, 2025), Sensor *DHT22* banyak diaplikasikan dalam sistem pemantauan lingkungan, khususnya di bidang pertanian, berkat kemampuannya memberikan pembacaan suhu dan kelembapan udara yang akurat. Peneliti (Syas *et al.*, 2020), juga menunjukkan bahwa sensor ini mampu memberikan pembacaan yang akurat dalam sistem monitoring budidaya jamur tiram putih.

Di penerapan Aplikasi berikutnya,, berhasil mengintegrasikan *DHT22* dalam sistem penyiraman otomatis untuk tanaman anggrek. Kelebihan lain dari sensor *DHT22* adalah kemudahannya dalam diintegrasikan dengan platform IoT seperti ESP8266 dan aplikasi Blynk sehingga memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh secara efisien (Nurrahmi *et al.*, 2022). Skema sensor suhu *DHT22* ditampilkan pada gambar 6.



Gambar 6 *Schematic* sensor suhu *DHT22* (Wahyudi *et al.*, 2025).

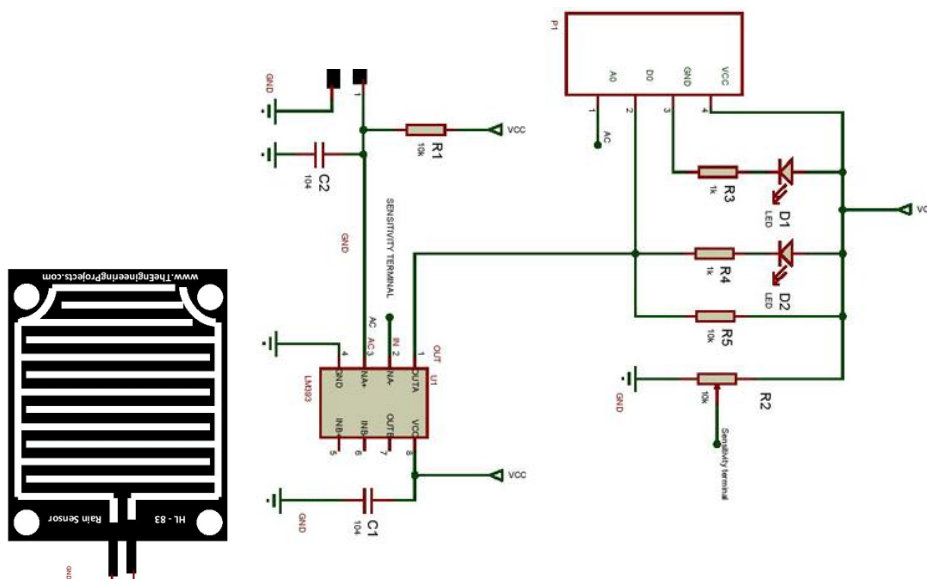
Gambar 6 menampilkan *Schematic* desain fisik beserta dimensi dari sensor suhu dan kelembapan *DHT22*. Diagram ini menyajikan rincian ukuran komponen secara presisi dalam satuan milimeter (mm), mulai dari panjang dan lebar bodi utama sensor, dimensi kaki komponen (*pin*), jarak antar pin (*pin pitch*), hingga diameter lubang dudukan baut (*mounting hole*).

Tabel 4 Spesifikasi Sensor *DHT22*.

Aspek	Keterangan
Sensor	<i>DHT22 (AM2302) Temperature & Humidity Sensor</i>
Prinsip Kerja	<i>Kombinasi Capacitive Humidity Sensor (kelembaban) & Thermistor NTC (suhu)</i>
Output	<i>Digital (Single-wire protocol)</i>
Tegangan Kerja	3,3 V – 6 V (Kompatibel dengan <i>ESP32</i>)
Parameter	Suhu (-40°C s.d. 80°C) & Kelembaban (0% s.d. 100% RH)

2.9.3 Sensor Hujan

Sensor hujan mendeteksi perubahan resistansi pada permukaannya ketika terkena air, lalu mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca mikrokontroler. Ketika tetesan air menyentuh papan sensor, nilai resistansi menurun sehingga sistem dapat mengenali kondisi hujan. Sensor *raindrop* mampu memberikan sinyal yang jelas saat intensitas air meningkat (Widodo & Sumaedi, 2023), Sensor ini juga responsif dalam membedakan kondisi cerah dan hujan pada sistem *monitoring IoT* (Rasyad *et al.*, 2025), Sensor hujan memberikan respon cepat terhadap perubahan cuaca sehingga cocok sebagai peringatan dini hujan (Raihantoro *et al.*, 2024), Sensor yang efektif digunakan untuk sistem pemantauan cuaca otomatis berbasis IoT (Muflihati *et al.*, 2024), Penelitian lain menegaskan bahwa sensor *raindrop* memiliki prinsip konduktivitas permukaan sehingga dapat mendeteksi hujan secara akurat dalam berbagai sistem otomasi (Padusan *et al.*, 2025). Rangkaian skema sensor hujan disajikan pada gambar 7.



Gambar 7 Schematic sensor hujan (Components101, 2024).

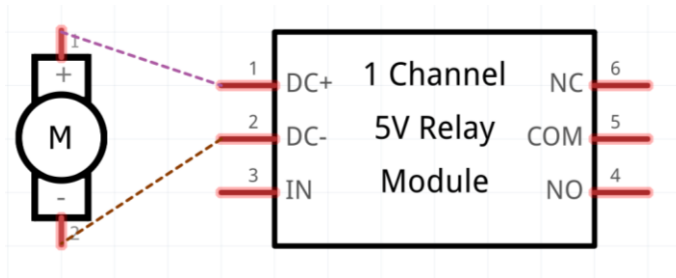
Gambar 7 *Schematic* rangkaian kelistrikan dari modul sensor pendeteksi hujan, yang terdiri dari papan *probe* (panel bergaris untuk mendeteksi air) dan modul pemroses sinyal.

Tabel 5 Spesifikasi Sensor Hujan.

Aspek	Keterangan
Sensor	<i>Rain Sensor Module (MH-RD / FC-37)</i>
<i>Output</i>	Digital (DO) & Analog (AO)
Tegangan Kerja	3,3 V – 5 V

2.9.4 Relay dan Pompa Air

Komponen elektromekanis otomatis dikendalikan oleh arus listrik, terdiri dari kumparan elektromagnet dan kontak saklar mekanik yang memungkinkan arus kecil mengontrol arus besar. Penelitian (Abdillah *et al.*, 2025), relay digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan arus pada pompa air secara otomatis berdasarkan perintah dari mikrokontroler, Relay banyak digunakan pada sistem IoT untuk mengendalikan perangkat berdaya tinggi seperti pompa karena memiliki respons cepat dan aman ketika menerima sinyal digital (Gupta *et al.*, 2025). Penggunaan relay pada sistem irigasi otomatis terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengoperasian pompa karena hanya aktif ketika nilai sensor mencapai rentang batas tertentu (Muflihati *et al.*, 2024). Pompa air ini berfungsi memindahkan air dari satu tempat ke tempat lain dengan memanfaatkan energi mekanik, dan pada sistem IoT pompa dikendalikan secara otomatis menggunakan relay agar penyiraman dapat dilakukan lebih presisi (Dominika *et al.*, 2025). Penelitian lainnya menjelaskan bahwa integrasi relay dan pompa air dalam sistem irigasi otomatis memungkinkan pompa hanya menyala ketika nilai kelembapan tanah berada dibawah rentang batas, sehingga air dialirkan tepat saat tanaman membutuhkannya (Asra, 2024), skema dan *wiring* relay pompa air disajikan pada digambar 8.



Gambar 8 Skematik relay dan pompa air (Wahyudi *et al.*, 2025).

Skematik koneksi kelistrikan antara modul *relay 1-channel (5V)* dan motor pompa air DC. Pada sistem ini *relay* bertindak sebagai saklar elektromekanis otomatis yang menjembatani mikrokontroler dengan aktuator (pompa) yang membutuhkan daya lebih besar.

2.10 Perangkat Lunak Pendukung

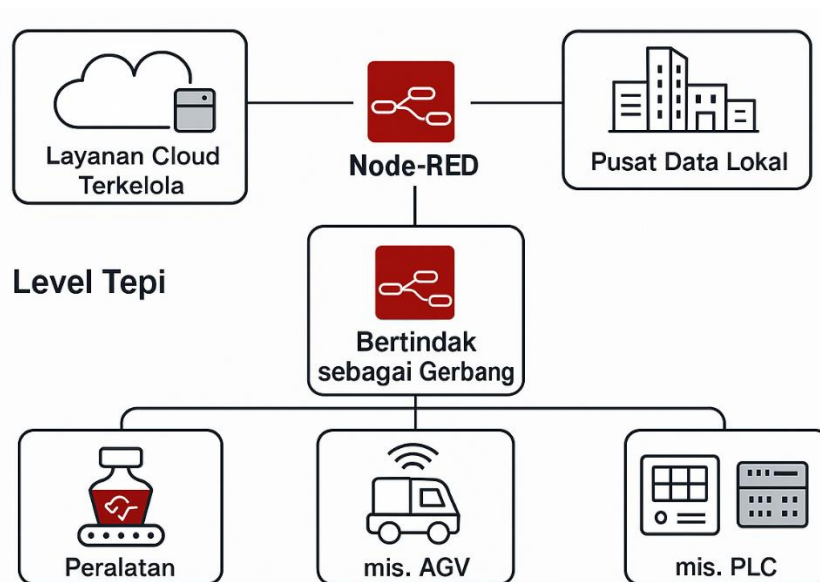
Dalam pengembangan sistem otomatisasi irigasi berbasis IoT, keberhasilan implementasi perangkat keras sangat bergantung pada perangkat lunak pendukung.

2.10.1 *Fritzing*

Tools alat bantu yang digunakan untuk perancangan dan pembuatan tampilan *breadboard*, skema rangkaian, dan papan sirkuit cetak (PCB) secara terpadu dan menyediakan antarmuka yang intuitif salah satunya adalah *fritzing* (Knörig & Cohen, 2020), Perangkat ini juga memungkinkan dokumentasi proyek elektronik dengan cara yang mudah dibagikan dan dipahami oleh komunitas besar di baliknya, sehingga cocok untuk keperluan pengajaran, proyek berbasis perangkat keras bebas, maupun untuk berbagi prototipe secara terbuka sekaligus memfasilitasi transisi dari rangkaian eksperimen ke produksi PCB yang lebih rapi dan dapat direplikasi. (Adi *et al.*, 2025), penelitian (Knörig & Cohen, 2020), menunjukkan bahwa *Fritzing* efektif dimanfaatkan dalam konteks memodelkan rangkaian elektronika secara visual mulai dari tampilan layout, *schematic*, hingga papan PCB.

2.10.2 Node-RED

Salah satu Instrumen pengembangan perangkat lunak yang menggunakan metode visual flow programming, logika program dirancang dengan menghubungkan simpul-simpul (*nodes*) yang memiliki fungsi spesifik merupakan *node-red*. (Abekiri *et al.*, 2023), Penelitian menunjukkan bahwa sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan secara *real-time* (Pi & Arigela, 2024), Pendekatan berbasis aliran (*flow-based*) ini memudahkan integrasi perangkat IoT melalui antarmuka grafis sehingga alur komunikasi sensor dapat dibangun tanpa penulisan kode yang kompleks. Pada sistem berbasis *ESP32*, *Node-RED* berfungsi sebagai pusat pengelolaan data yang menerima informasi melalui protokol *MQTT* untuk kemudian divisualisasikan dalam bentuk *dashboard* secara *real-time* (Ivan *et al.*, 2022). Arsitektur *Node-RED* dapat dilihat pada gambar 9.



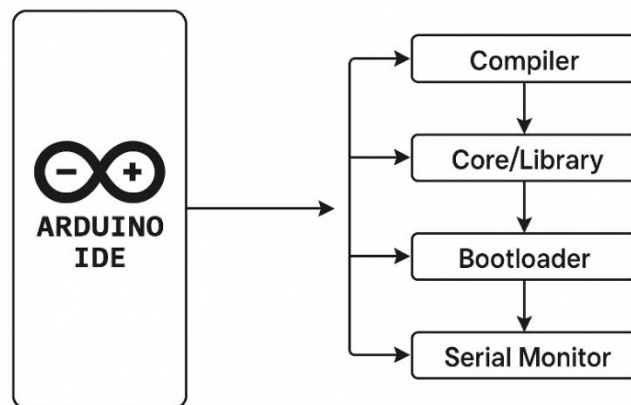
Gambar 9 Arsitektur Node-RED pada sistem manufaktur.

Gambar 9 memperlihatkan bagaimana *Node-RED* digunakan sebagai penghubung antara perangkat industri di rantai produksi dengan sistem *cloud* atau pusat data,

sehingga data dari mesin dapat dikumpulkan, diproses, dan dimanfaatkan untuk analisis secara *real-time*.

2.10.3 *Arduino IDE*

Perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan mengunggah program ke papan mikrokontroler seperti *Arduino* dan *ESP32*. Lingkungan ini dirancang sederhana sehingga mudah digunakan oleh pemula maupun pengembang sistem *embedded*. Penelitian (Fezari & Dahoud, 2020), *Arduino IDE* berfungsi sebagai editor kode, compiler, dan uploader dalam satu aplikasi. Penelitian lain (Márquez-vera *et al.*, 2023), menyebutkan bahwa *IDE* ini sangat efektif untuk proses *prototyping* perangkat IoT karena bersifat *open-source* dan mendukung berbagai *library* sensor. Dalam penelitian lain (Iván H. Pérez-Tavera a Abstract., 2023), juga di sebutkan software ini ialah antarmuka ini terdiri dari editor kode, area konsol pesan, dan bilah untuk mengompilasi serta mengunggah program ke memori *mikrokontroler*, Arsitektur *arduino IDE* disajikan pada gambar10.



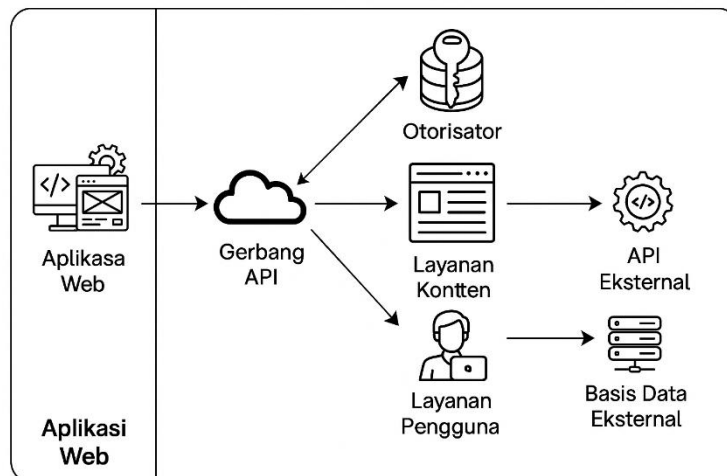
Gambar 10 Arsitektur arduino IDE (Rumetna *et al.*, 2022).

Gambar 10 menjelaskan alur kerja *Arduino IDE*, mulai dari menulis kode di editor, lalu kode itu dikompilasi dan diproses menggunakan *core* dan *library* sesuai jenis *board*.

Setelah jadi file program, *Arduino IDE* mengunggahnya ke mikrokontroler melalui *bootloader* (program kecil yang sudah tertanam di *mikrokontroler*). Ketika program sudah berjalan, pengguna dapat melihat hasil atau data sensor melalui *Serial Monitor* untuk memastikan semuanya bekerja dengan benar.

2.10.5 Cloud Server

Server yang berjalan menggunakan teknologi komputasi awan, di mana sumber daya seperti penyimpanan, pengolahan data, dan jaringan disediakan melalui internet tanpa harus memiliki perangkat keras sendiri. (Islam *et al.*, 2023), penggunaan *cloud server* membantu organisasi mengelola data secara *fleksibel*, cepat, dan aman karena dapat menyesuaikan kapasitas sesuai kebutuhan. Selain itu, (Omar & Mwakondo, 2024), perkembangan *cloud server* juga mendukung kemajuan teknologi digital seperti kecerdasan buatan dan sistem berbasis internet, yang membuatnya menjadi bagian penting dalam transformasi teknologi. *Arsitektur cloud server* disajikan pada gambar 11.



Gambar 11 Arsitektur cloud server (Rumetna *et al.*, 2022).

Gambar 11 memperlihatkan contoh arsitektur sistem berbasis cloud yang menggambarkan bagaimana sebuah aplikasi web terhubung dengan berbagai layanan

melalui jaringan internet. Dalam arsitektur ini, setiap komponen seperti layanan pengguna, layanan konten, dan penyimpanan data dihubungkan melalui satu pintu utama, yaitu *API Gateway*.

2.11 Protokol Komunikasi Data

Komunikasi sekumpulan aturan dan format yang digunakan agar perangkat IoT dapat saling mengirim dan menerima informasi dengan benar, cepat, dan aman.

2.12 HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*)

Protokol komunikasi fundamental dalam sistem *Internet of Things (IoT)* yang memungkinkan pertukaran data secara request-response antara perangkat mikrokontroler seperti *ESP32* dengan platform *cloud* atau web server. Protokol ini mendukung transmisi data sensor secara real-time dan aksesibilitas sistem dari jarak jauh (Morchid *et al.*, 2024). Dalam penerapan sistem irigasi cerdas, *HTTP* sering digunakan untuk mengirimkan data *telemetry* berbasis *JSON* dari sensor kelembapan tanah, suhu, dan kondisi hujan ke *cloud platform*, sehingga memungkinkan visualisasi serta pengendalian otomatis yang aman (Mohiuddin, 2024). Meskipun memiliki overhead lebih besar dibandingkan protokol ringan lainnya, *HTTP* memberikan keseimbangan yang baik antara kemudahan implementasi dan keandalan transmisi pada sistem irigasi berbasis *embedded* (Hassebo *et al.*, 2025). Selain itu, protokol ini juga mendukung integrasi dengan *Server-Sent Events (SSE)* untuk update *real-time* pada antarmuka web yang digunakan petani (Shiva Shankar *et al.*, 2021). Oleh karena itu, *HTTP* menjadi pilihan yang sesuai untuk sistem monitoring irigasi bawang merah di lahan terbuka (Onose, 2025).

2.13 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Protokol komunikasi MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport* berkonsep *Machine-to-Machine (M2M)* yang dirancang secara spesifik agar berukuran sangat ringan (*lightweight*). Karakteristik ini menjadikannya sangat ideal untuk diaplikasikan

pada perangkat mikrokontroler berspesifikasi minim serta pada area operasional dengan kapabilitas pita jaringan (*bandwidth*) yang terbatas, seperti pada lingkungan pertanian cerdas atau *smart agriculture* (Soni, Dipa, 2022) ; (Haripriya, 2022) Berbeda dengan protokol konvensional berbasis *Client-Server* seperti *HTTP*, arsitektur *MQTT* beroperasi secara asinkron menggunakan model *Publish-Subscribe*. Dalam mekanisme ini, entitas pengirim (*Publisher*) dan penerima data (*Subscriber*) tidak saling berkomunikasi secara langsung, melainkan sepenuhnya dijembatani oleh sebuah peladen pusat penengah yang bertindak sebagai *Broker* (Alshammari, 2023); (Afif & Hardianto, 2023) Pada implementasi praktis untuk sistem pemantauan agroklimatologi, arsitektur *transmisi MQTT* terbukti mampu meminimalkan waktu tunda (*latency*) jaringan dan mengoptimalkan alokasi beban memori alat. Hal ini memastikan *Quality of Service* (QoS) pengiriman data sensor secara *real-time* dapat dipertahankan secara optimal meskipun berada pada kondisi jaringan seluler yang fluktuatif (Patel *et al.*, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian R&D model ADDIE ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis data numerik hasil pembacaan sensor dalam mengukur kinerja sistem.

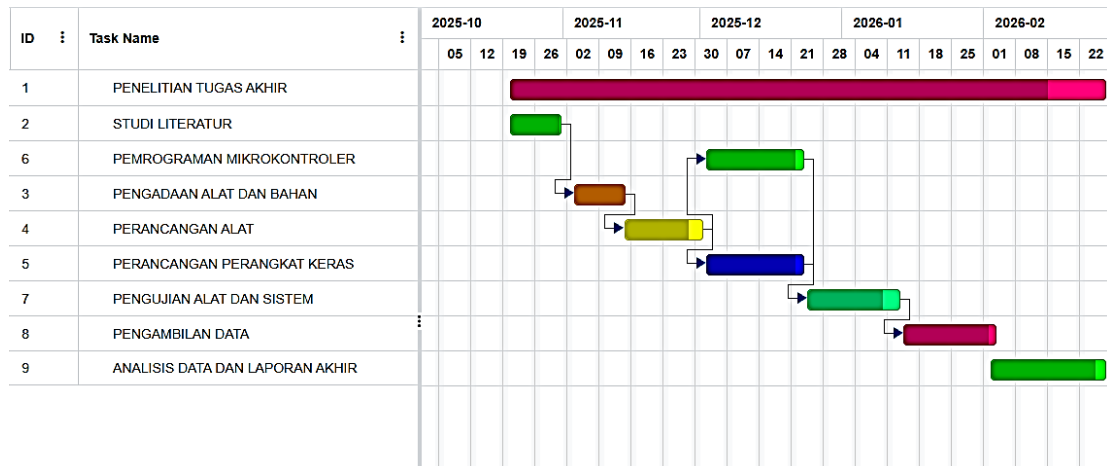
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dan pembuatan skripsi ini dilakukan pada:

Waktu : 18 Oktober 2025 – 27 Februari 2026

Tempat : Desa Wonodadi kec. Gadingrejo Kab. Pringsewu Lampung

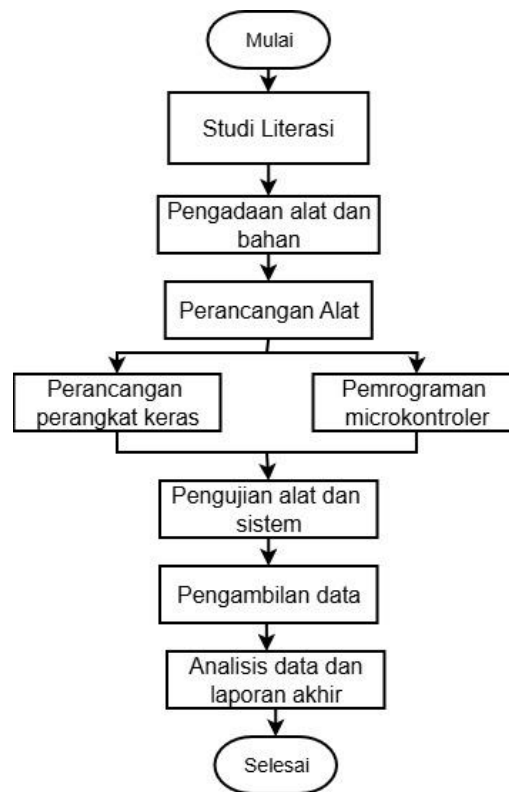
Tabel 6 Jadwal waktu penelitian



Gambar 12 Waktu Penelitian.

3.3 Alur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alur penelitian yang ditunjukkan Gambar 12.



Gambar 13 Diagram alir penelitian.

Diagram alir penelitian dimulai dari studi literatur untuk memperoleh dasar teori dan referensi yang relevan. Setelah itu dilakukan analisis dan perancangan sistem, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan sistem sesuai rancangan. Sistem yang telah dibuat diuji untuk memastikan kinerjanya, dan jika belum berfungsi dengan baik maka dilakukan perancangan ulang hingga sistem bekerja sesuai kebutuhan. Setelah sistem berfungsi, dilakukan pengambilan data hasil pengujian yang selanjutnya digunakan dalam penyusunan laporan akhir sebagai tahap penutup penelitian.

3.4 Metode Pengembangan Sistem Penelitian

Pengembangan metode ADDIE kerangka kerja yang sistematis, umum, dan praktis untuk membangun sebuah sistem teknologi yang efektif dan efisien. Tahapan-tahapan proses dalam model ADDIE memiliki kaitan satu sama lain, oleh karena itu

penggunaannya perlu dilakukan secara bertahap dan menyeluruh untuk menjamin terciptanya suatu produk yang andal. Terdapat lima langkah pengembangan, yaitu:



Gambar 14 Metode penelitian ADDIE (Gunawan *et al.*, 2025).

Langkah analisis terdiri atas dua tahapan utama, yaitu analisis masalah dan analisis kebutuhan.

- 1) **Analisis Masalah:** Dilakukan melalui observasi langsung di lahan pertanian bawang merah Desa Wonodadi serta wawancara dengan petani untuk mengetahui permasalahan irigasi yang ada. Permasalahan yang ditemukan umumnya berkaitan dengan sistem pengairan yang masih konvensional, kurang akuratnya volume air, serta sulitnya memantau kondisi cuaca secara tepat.
- 2) **Design (Desain)** Langkah kedua adalah merancang (*design*) sistem secara keseluruhan sebelum direalisasikan. Pada perancangan sistem IoT ini, langkah desain terbagi menjadi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak:

- **Desain Perangkat Keras:** Membuat *wiring diagram* (menggunakan *Fritzing*), diagram blok, dan *flowchart* sistem. Desain ini memetakan integrasi antara *mikrokontroler ESP32* sebagai pusat kendali, dengan input (sensor *soil moisture*, sensor suhu *DHT22*, sensor hujan) dan aktuator (*relay* dan pompa air).
 - **Desain Perangkat Lunak:** Merancang variabel dan himpunan logika *Fuzzy Sugeno* (kelembapan tanah, suhu udara, kondisi hujan) untuk menentukan durasi (*t_run*) penyiraman. Pada tahap ini juga dilakukan perancangan tata letak (*layout*) untuk antarmuka *dashboard* pemantauan berbasis *Node-RED*.
- 3) **Development (Pengembangan)** Langkah ketiga adalah merealisasikan rancangan menjadi bentuk fisik sistem yang utuh. Tahapan pada fase pengembangan meliputi:
- **Perakitan dan Pemrograman:** Merakit komponen perangkat keras ke dalam kotak panel pelindung. Selanjutnya, peneliti menulis dan mengunggah (*upload*) kode pemrograman algoritma *Fuzzy Sugeno* ke dalam ESP32 menggunakan *Arduino IDE*.
 - **Kalibrasi dan Validasi:** Setelah prototipe dirakit, sensor-sensor utama divalidasi dan dikalibrasi menggunakan alat ukur standar (misalnya *Soil Tester* analog dan termometer). Apabila ditemukan ketidaksesuaian data pembacaan, maka dilakukan revisi pada kode program (*fine-tuning*) hingga akurasi sistem dinyatakan valid dan siap diuji coba.
- 4) **Implementation (Implementasi)** Tahap implementasi dilakukan untuk mengetahui kelayakan dan kepraktisan sistem yang telah dikembangkan secara langsung. Alat irigasi cerdas yang telah melalui proses validasi dan revisi dipasang (*deployment*) di lingkungan aslinya, yakni di lahan budidaya bawang merah Desa Wonodadi. Pada tahap ini, pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada 5 titik sampel yang berbeda untuk memantau langsung distribusi kelembapan tanah, respons pompa air otomatis, serta kelancaran konektivitas perangkat IoT di lapangan.

- 5) **Evaluation (Evaluasi)** Setelah sistem diuji coba secara aktual, tahap terakhir adalah melakukan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja alat. Evaluasi difokuskan pada analisis akurasi keputusan logika *Fuzzy*, stabilitas pengiriman data (*Quality of Service/QoS*) via protokol *MQTT* ke *dashboard*, serta analisis perbandingan efisiensi air antara sistem otomatis ini dengan metode konvensional. Hasil evaluasi ini kemudian digunakan sebagai dasar kesimpulan penelitian dan saran perbaikan untuk kesempurnaan sistem di masa depan.

3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

3.5.1 Data Primer

Data primer dalam penelitian ini diperoleh melalui observasi langsung di lokasi lahan pertanian bawang merah Desa Wonodadi Kec.Gadingrejo, Kab.Pringsewu. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem irigasi otomatis berbasis *Internet Of Things (IOT)*, termasuk kondisi lingkungan, pola penyiraman dan jaringan. Selain itu, dilakukan juga wawancara dengan petani atau pengelola lahan bapak marsodo untuk memperoleh informasi terkait permasalahan dalam pengairan yang akan dijadikan dasar perancangan sistem.

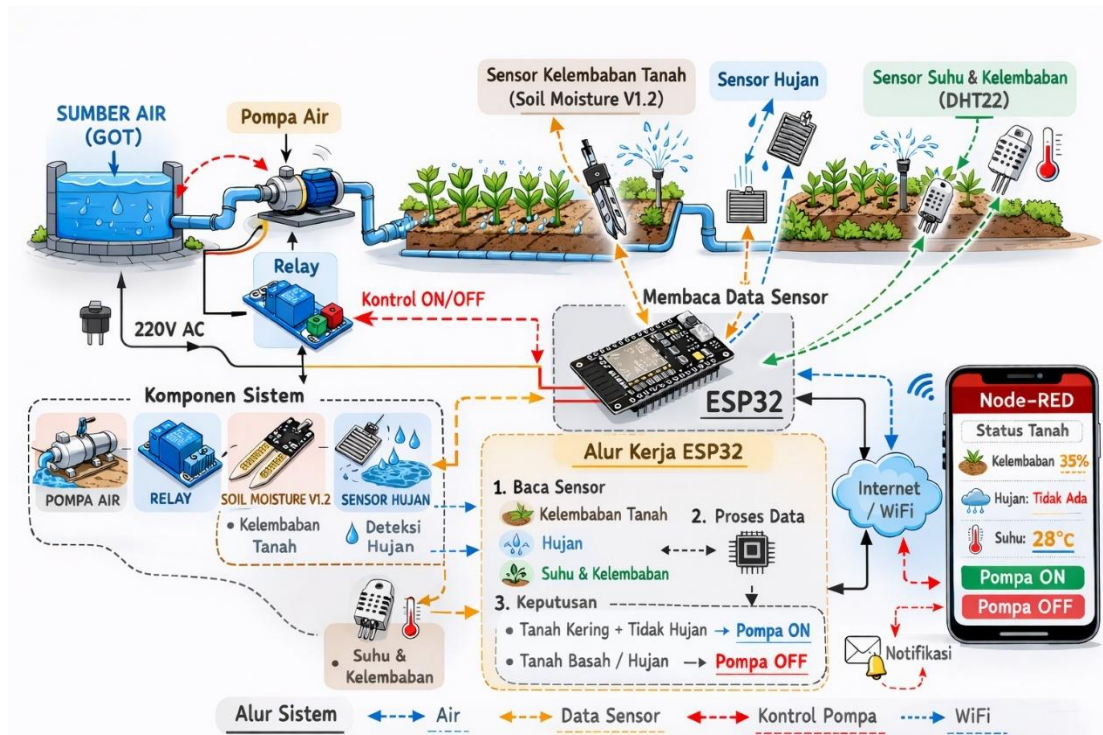
- a) Rasio perbandingan *prototype* dan lahan asli.

Prototype sistem irigasi pada penelitian ini dibuat dengan ukuran 1 meter persegi, di mana skala yang digunakan adalah 1:140 sehingga setiap 1 cm pada *prototype* mewakili sekitar 1,4 meter kondisi lahan asli seluas 2 hektar.

$$\text{Skala} = \frac{\text{Panjang Prototype}}{\text{Panjang Kondisi Asli}} \quad \text{Skala} = \frac{1}{140}$$

- 1 cm prototype mewakili 1,4 meter asli
- 100 cm prototype mewakili 140 meter asli

b) Gambar rancangan sistem irigasi otomatis berbasis IoT penelitian ini.



Gambar 15 sistem irigasi otomatis bawang merah berbasis IoT dan *Node-RED*.

Gambar ini menunjukkan rancangan sistem irigasi otomatis berbasis IoT yang menggunakan sensor kelembaban tanah, suhu udara, sensor hujan, serta pengendalian pompa air melalui *Node-RED*.

c) Percobaan cek kelembaban tanah sebelum dan setelah disiram sebagai aturan dalam system IoT

Tabel 7 Identifikasi kelembaban tanah sebelum dan setelah penyiraman.

Percobaan	Sebelum Penyiraman	Kategori Sebelum	Sesudah Penyiraman	Kategori Sesudah
1	35%	Kering	63%	Basah
2	30%	Kering	61%	Basah
3	25%	Kering	58%	Lembap
4	42%	Lembap	66%	Basah
5	38%	Kering	64%	Basah

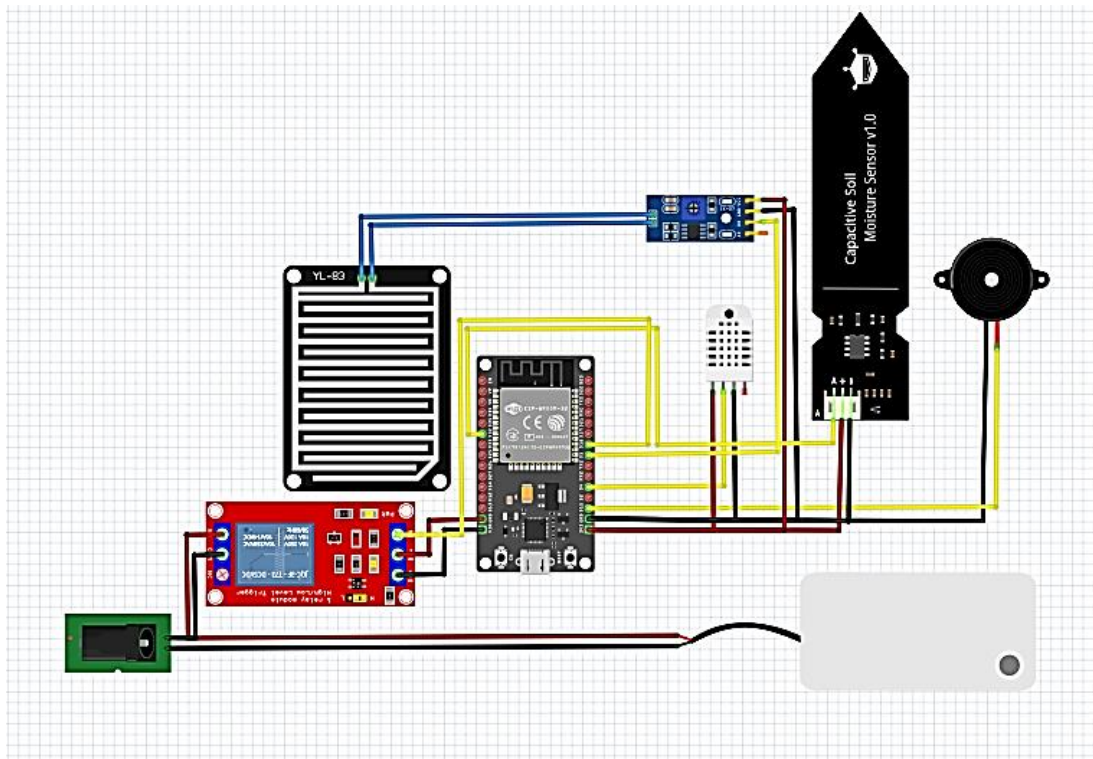
Tabel menunjukkan perubahan kelembaban tanah sebelum dan sesudah penyiraman. Berdasarkan lima kali percobaan, nilai kelembaban tanah yang awalnya berada pada kategori kering atau lembap meningkat menjadi lembap atau basah setelah disiram.

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui studi pustaka dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, dan situs web terpercaya yang membahas tentang teknologi *Internet Of Things (IOT)*, metode logika *Fuzzy Sugeno*, *Node-RED*, dan sistem monitoring otomatisasi irigasi. Data ini digunakan sebagai referensi dan landasan teori dalam proses perancangan sistem yang akan dikembangkan.

3.6 Perancangan Sistem

Rancangan wiring diagram sistem dalam penelitian ini sebagai berikut.

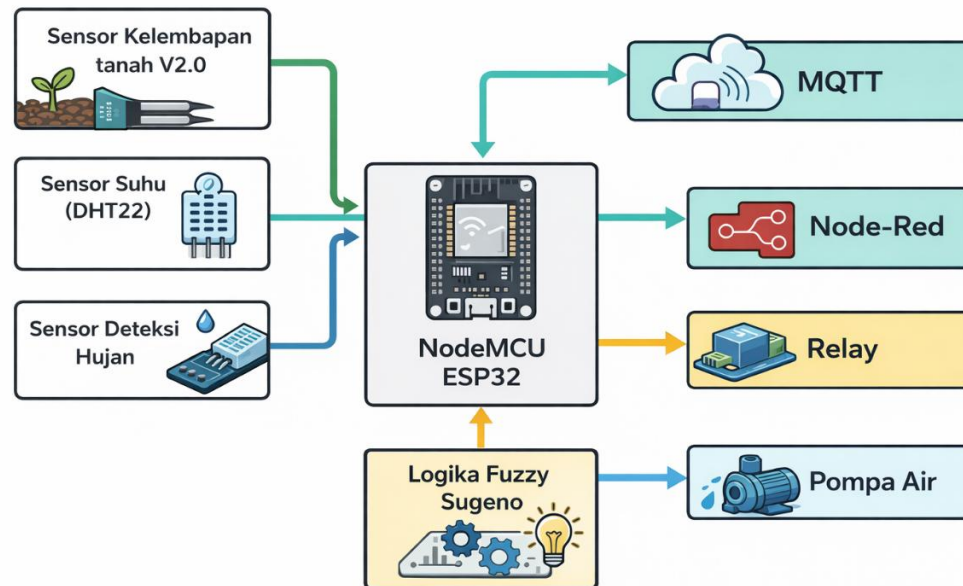


Gambar 16 Wiring diagram sistem.

Gambar 16 di atas merupakan *wiring diagram* atau skema perakitan rangkaian elektronik dari sistem monitoring dan kendali irigasi otomatis yang dirancang menggunakan perangkat lunak *Fritzing*. Skema ini mengilustrasikan jalur integrasi kelistrikan dan aliran data antara mikrokontroler dengan seluruh komponen *input* (sensor) dan *output* (aktuator).

3.6.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dalam penelitian ini sebagai berikut:



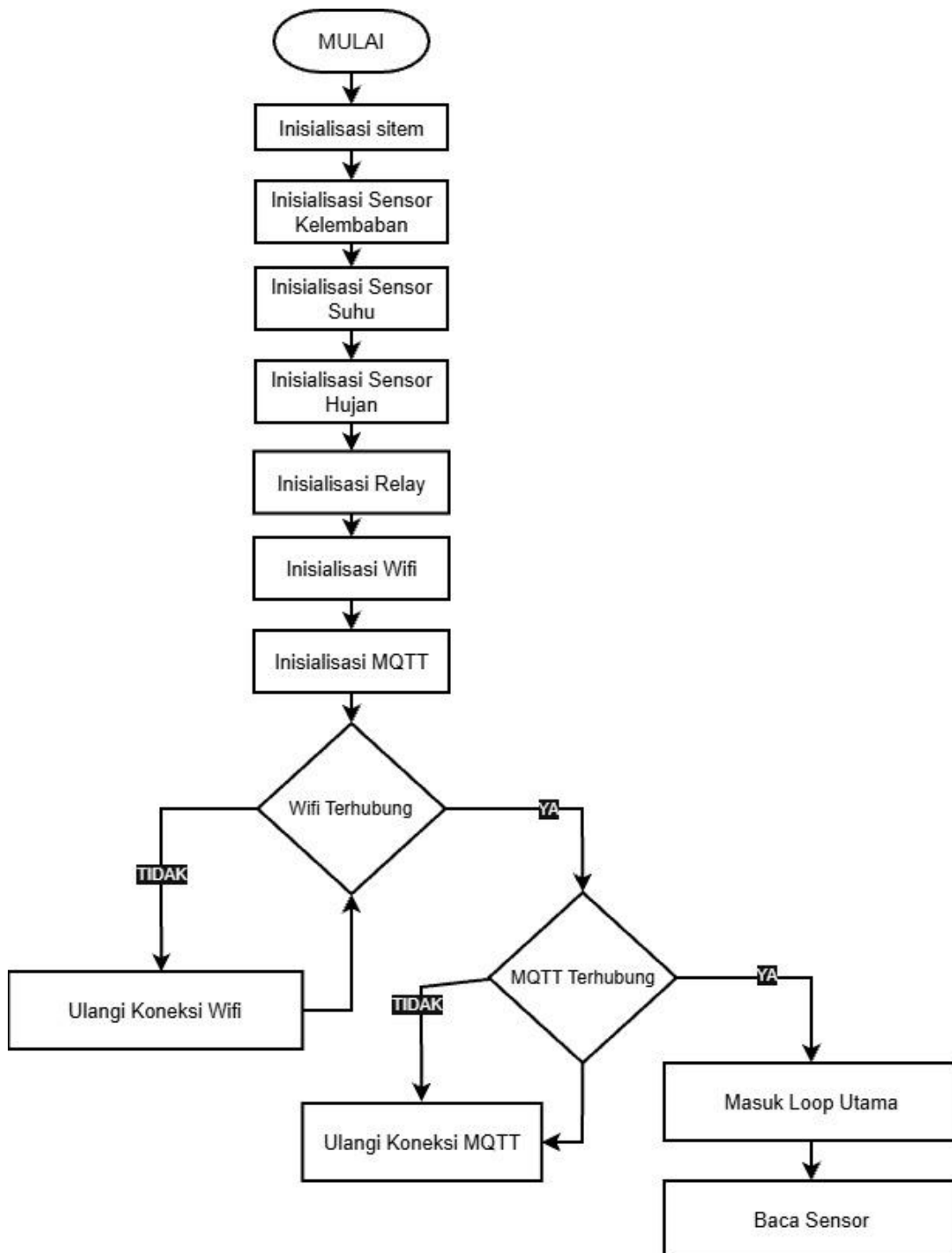
Gambar 17 Diagram blok sistem.

Berdasarkan Gambar 8 Diagram blok sistem pada penelitian tugas akhir ini menunjukkan diagram blok sistem irigasi otomatis berbasis IoT menggunakan *NodeMCU ESP32*. Bagian input terdiri dari *sensor DHT22*, *soil moisture*, dan *rain detector* yang berfungsi untuk mendeteksi suhu, kelembapan tanah, serta kondisi hujan. Data dari sensor diproses oleh *NodeMCU ESP32* dengan menerapkan logika *fuzzy* untuk menentukan keputusan penyiraman. Hasil proses kemudian dikirim ke bagian output berupa pompa air sebagai aktuator penyiram tanaman dan *Node-RED* sebagai media pemantauan data secara real-time melalui jaringan internet.

3.6.2 Diagram Alir Sistem Kerja Alat

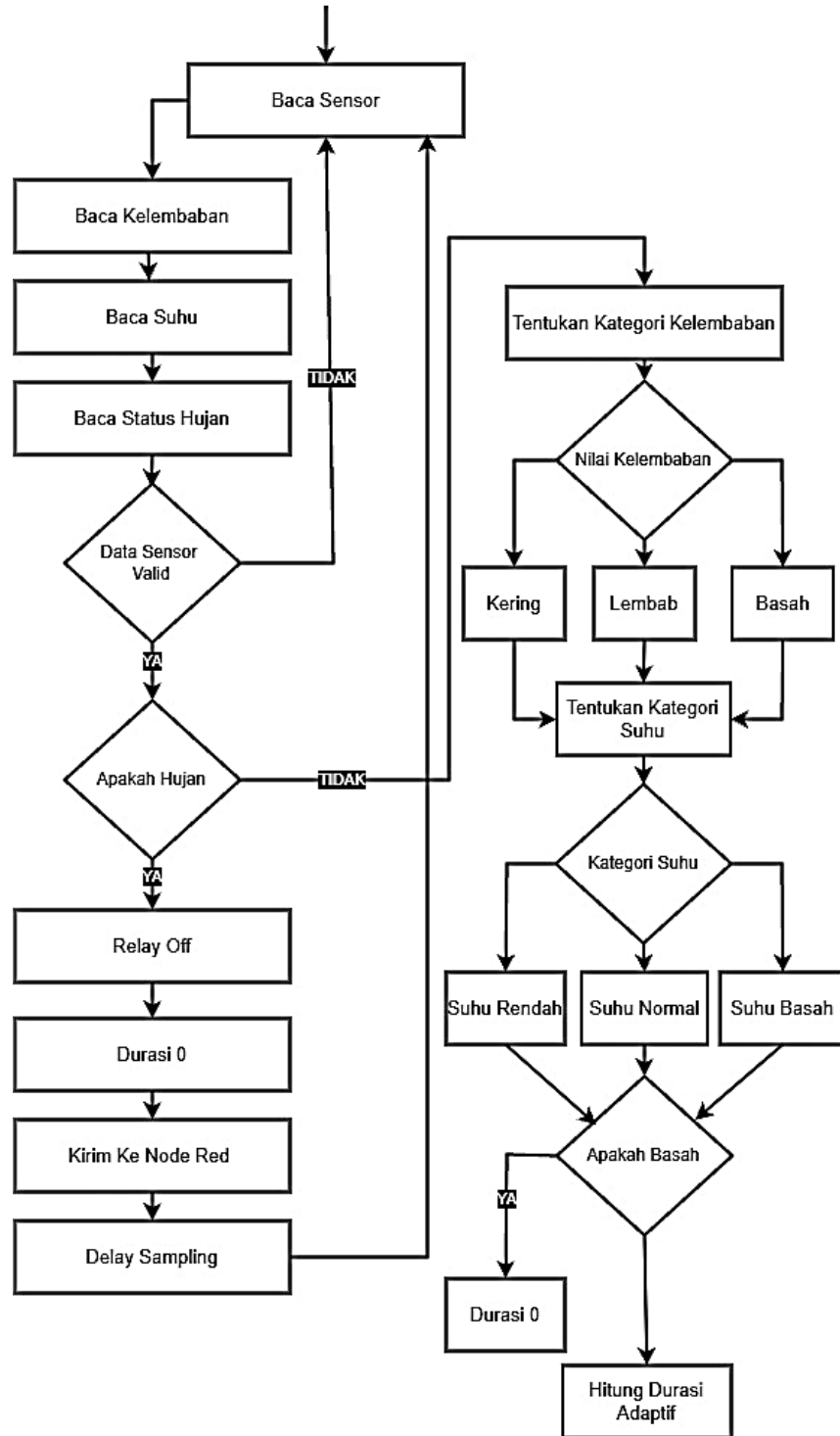
Adapun diagram alir sistem kerja alat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi Perangkat



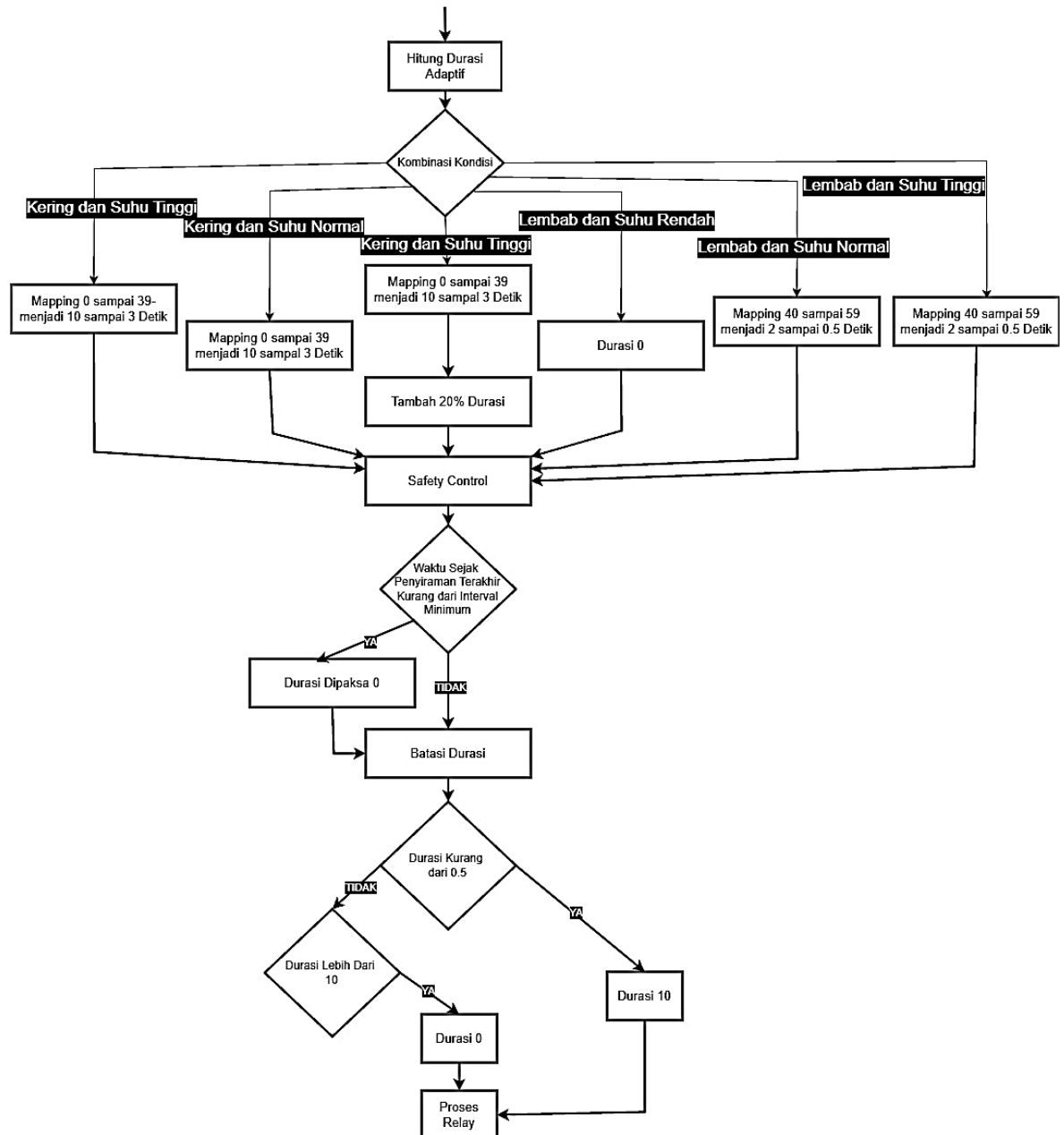
Gambar 18 Tahapan inisialisasi perangkat.

2. Akuisi Data



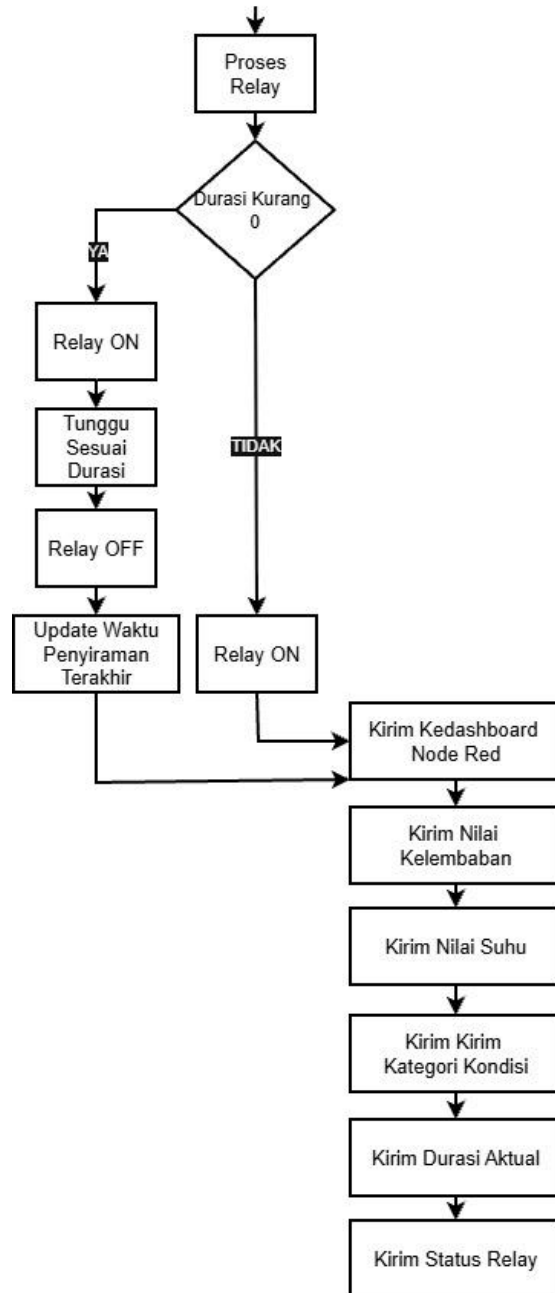
Gambar 19 Tahapan akuisi data.

3. Rule Base Defuzzyfikasi



Gambar 20 Tahapan rule base defuzzyfikasi.

4. Menampilkan ke *Node Red*



Gambar 21 Tahapan menampilkan ke *node red*.

3.7 Perangkat Keras (*Hardware*)

Beberapa perangkat keras yang digunakan dipenelitian ini sebagai berikut:

Tabel 8 Perangkat keras.

No	Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi
1.	<i>Mikrokontroler ESP32</i>	<i>Dual-Core Tensilica Xtensa LX6</i> , 240 MHz, RAM 520 KB, Wi-Fi & Bluetooth	Sebagai pusat kendali sistem dan pengolah data sensor
2.	Sensor Kelembapan Tanah	Tipe Kapasitif v1.2, Tegangan kerja 3.3–5V	Mengukur kadar air dalam tanah
3.	Sensor <i>DHT22</i>	Akurasi suhu $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, kelembapan $\pm 2\%$, rentang suhu -40 – 80°C	Mengukur suhu udara dan kelembapan lingkungan
4.	Sensor Hujan (<i>Rain Sensor</i>)	Tegangan kerja 3.3–5V, Output analog & digital, dilengkapi modul pembanding (LM393)	Mendeteksi adanya air hujan di permukaan sensor untuk menunda penyiraman otomatis
5.	Pompa Air Mini DC 12V	Debit air ± 240 L/jam	Mengalirkan air ke lahan sesuai waktu penyiraman
6.	<i>Relay Module</i> 1 Channel 5V	Tegangan kerja 5V DC, arus maksimal 10A	Mengontrol ON/OFF pompa berdasarkan perintah mikrokontroler
7.	<i>Power Supply/ Baterai</i>	Adaptor 12V 2A	Menyuplai daya untuk <i>ESP32</i> , sensor, dan pompa
8.	<i>Breadboard & Kabel Jumper</i>	–	Media perakitan dan koneksi antar komponen

3.8 Desain Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak digunakan untuk membantu proses perancangan, pemrograman, serta pengujian sistem irigasi otomatis berbasis *Internet Of Things (IoT)*.

3.8.1 Perangkat Lunak

Beberapa perangkat keras yang digunakan dipenelitian ini sebagai berikut:

Tabel 9 Perangkat lunak.

No	Perangkat Lunak	Versi	Fungsi
----	-----------------	-------	--------

1	<i>Arduino IDE</i>	2.2.1	Menulis dan mengunggah program ke <i>mikrokontroler ESP32</i>
2	<i>Node-RED</i>	3.1.0	Membuat <i>dashboard monitoring</i> IoT dan memvisualisasikan data sensor
3	<i>Google Chrome / Web Browser</i>	Versi terbaru	Menampilkan <i>dashboard Node-RED</i>
4	Draw.io (diagrams.net)	Versi online	Membuat <i>diagram blok</i> dan <i>flowchart</i> sistem
5	<i>Fritzing</i>	Versi terbaru	Membuat wiring diagram rangkaian <i>ESP32</i> , sensor, dan komponen elektronik

Pemilihan perangkat lunak di atas didasarkan pada kebutuhan sistem yang memerlukan integrasi antara perangkat keras dan platform pemantauan jarak jauh. Berikut adalah alasan mendalam pemilihan perangkat lunak utama tersebut:

- a. ***Arduino IDE***: Sifatnya yang *open-source* dan kemudahannya dalam proses *prototyping* perangkat IoT. IDE ini sangat efektif karena mendukung berbagai *library* sensor serta memudahkan pengunggahan logika kendali utama ke memori *mikrokontroler ESP32*.
- b. ***Node-RED***: Menggunakan metode visual flow programming yang memudahkan integrasi perangkat IoT melalui antarmuka grafis berbasis alur. Platform ini memungkinkan data lingkungan dari *mikrokontroler ESP32* diolah dan ditampilkan dalam bentuk *dashboard* secara *real-time* tanpa memerlukan penulisan kode yang kompleks.
- c. ***Fritzing***: Perancangan dan dokumentasi skema rangkaian secara visual. Perangkat ini memudahkan transisi dari rangkaian eksperimen di *breadboard* menuju tampilan skematik yang lebih rapi dan dapat direplikasi.

3.8.2 Perancangan Variabel Fuzzy

Perancangan logika *Fuzzy Sugeno* pada sistem ini digunakan untuk mengatur lama waktu penyiraman (t_{run}) secara otomatis berdasarkan dua input, yaitu kelembapan tanah dan suhu udara.

a. Variabel *fuzzy*Tabel 10 Parameter variabel *fuzzy*.

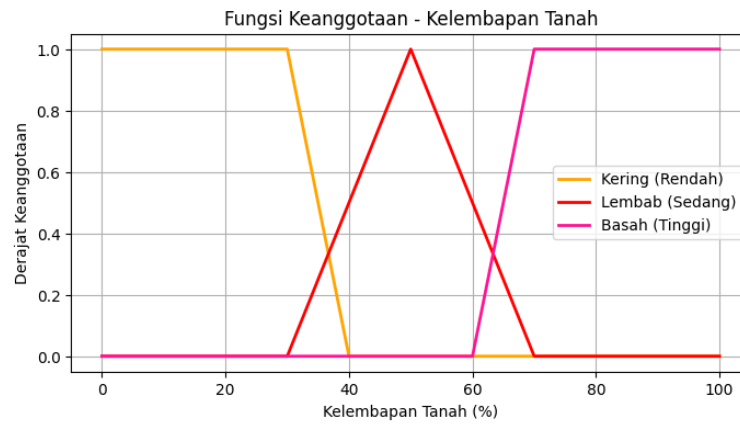
Jenis Variabel	Nama Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Rentang Nilai	Keterangan
Input 1	Kelembapan Tanah	Kering, Lembap, Basah	0 – 73 %	Mengukur kadar air tanah menggunakan sensor kelembapan kapasitif.
Input 2	Suhu Udara	Dingin, Normal, Panas	0 – 45 °C	Mengukur suhu udara sekitar menggunakan sensor <i>DHT22</i> .
Input 3	Kondisi Hujan	Tidak Hujan, Hujan	0 atau 1 (digital)	Sensor hujan mendeteksi keberadaan air di permukaan pelat; nilai <i>HIGH</i> = tidak hujan, <i>LOW</i> = hujan.
Output	Waktu Penyiraman (<i>t_run</i>)	Pendek, Sedang, Panjang	0 – 10 detik	Menentukan durasi penyiraman berdasarkan hasil <i>defuzzifikasi fuzzy Sugeno</i> .

b. Fungsi keanggotaan

Tabel 11 Himpunan fuzzy kelembapan tanah.

Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Domain (Rentang Nilai)
Kelembapan Tanah	Kering	[0 – 40 %]
	Lembap	[30 – 60 %]
	Basah	[60 – 73 %]

Pada fungsi keanggotaan masukan sensor menggunakan bentuk kurva linear naik, turun, serta trapesium. Gambar dibawah ini merupakan fungsi keanggotaan dari masukan sensor kelembapan tanah.

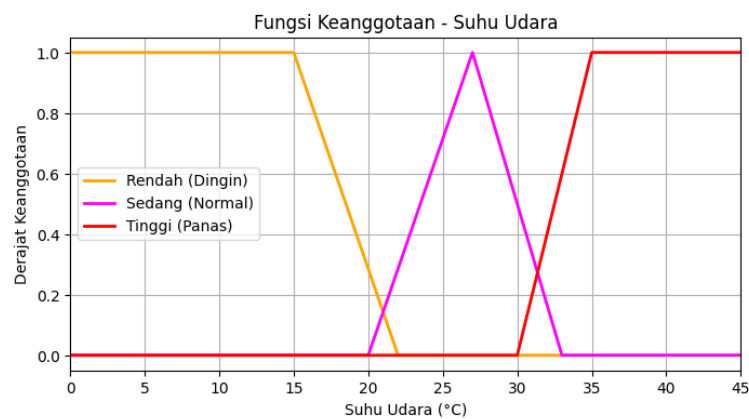


Gambar 22 Fungsi keanggotaan kelembapan tanah.

Tabel 12 Himpunan *fuzzy* suhu udara.

Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Domain (Rentang Nilai)
Suhu Udara (°C)	Dingin (Rendah)	[0 – 22]
	Normal (Sedang)	[20 – 33]
	Panas (Tinggi)	[30 – 45]

Pada variabel suhu udara, fungsi keanggotaan dibentuk menggunakan kurva linear naik, linear turun, dan trapesium.



Gambar 23 Fungsi keanggotaan suhu udara.

c. Aturan *fuzzy* (*Rule Base*)

Pada alat penyiraman tanaman bawang merah otomatis ini terdapat sembilan aturan *fuzzy* dalam satuan milidetik (ms) lalu dikonversi ke detik (s).

Tabel 13 Aturan *fuzzy* (*rule base*) sistem penyiraman otomatis.

No	Kelembapan Tanah	Suhu Udara	Output Penyiraman (<i>t_run</i>)	Nilai <i>Fuzzy Output</i>
1.	Kering	Rendah (Dingin)	Sedang	0.5 — 5 detik
2.	Kering	Normal (Sedang)	Panjang	1.0 — 10 detik
3.	Kering	Tinggi (Panas)	Panjang	1.0 — 10 detik
4.	Lembap	Rendah (Dingin)	Tidak Menyiram	0.0 — 0 detik
5.	Lembap	Normal (Sedang)	Sedang	0.5 — 5 detik
6.	Lembap	Tinggi (Panas)	Sedang	0.5 — 5 detik
7.	Basah	Rendah (Dingin)	Tidak Menyiram	0.0 — 0 detik
8.	Basah	Normal (Sedang)	Tidak Menyiram	0.0 — 0 detik
9.	Basah	Tinggi (Panas)	Tidak Menyiram	0.0 — 0 detik

d. Perhitungan output (sugeno)

Nilai keluaran dihitung menggunakan rumus:

$$t_run = \frac{\sum(\mu_i \times z_i)}{\sum \mu_i}$$

dengan:

μ_i = derajat keanggotaan aturan ke-*i*

z_i = nilai keluaran tetap (konstanta)

Nilai konstanta ditentukan sebagai berikut:

Tabel 14 Parameter output perhitungan fuzzy.

Kategori	Nilai Konstanta (zi)
Pendek	2 detik
Sedang	5 detik
Panjang	10 detik

3.8.3 Analisis Logika Operasional Fuzzy

Dalam implementasinya, sistem dirancang untuk memproses data sensor melalui dua kondisi pembacaan guna menentukan keputusan penyiraman secara akurat:

A. Kondisi Tunggal

Kondisi tunggal terjadi apabila nilai input sensor berada sepenuhnya di dalam satu himpunan *fuzzy* tanpa ada irisan dengan himpunan lainnya, sehingga nilai derajat keanggotaannya adalah mutlak 1.

- a. Contoh Kasus: Jika sensor membaca Kelembapan Tanah = 18% (Kategori Kering) dan Suhu Udara = 34°C (Kategori Panas).
- b. Keputusan Sistem: Berdasarkan aturan ke-3 (*Rule 3*), jika tanah Kering dan suhu Panas, maka sistem memberikan output penyiraman Panjang selama 10 detik.

B. Kondisi Selisih (Irisan)

Kondisi selisih terjadi apabila nilai input sensor berada di antara dua himpunan *fuzzy* (daerah transisi). Sistem akan menghitung derajat keanggotaan (μ) pada kedua kategori menggunakan rumus kurva linear naik dan turun untuk mendapatkan nilai yang lebih halus (*smooth*).

- a. Contoh Kasus (Irisan Kelembapan): Jika kelembapan tanah bernilai 31% (berada di antara Kering dan Lembap):

- $\mu\{\text{kering}\} = \frac{40 - 31}{40 - 30} = 0.9.$
- $\mu\{\text{lembap}\} = \frac{31 - 30}{40 - 30} = 0.1.$

b. Contoh Kasus (Irisan Suhu): Jika suhu udara bernilai 21°C (berada di antara Dingin dan Normal):

- $\mu\{\text{dingin}\} = \frac{22 - 21}{22 - 15} = 0.14.$
- $\mu\{\text{normal}\} = \frac{21 - 20}{25 - 20} = 0.2.$

Seluruh nilai derajat keanggotaan tersebut kemudian diproses menggunakan metode Defuzzifikasi Sugeno dengan rumus rata-rata terbobot (*weighted average*) untuk menghasilkan durasi penyiraman yang presisi:

$$t_{\text{run}} = \frac{\sum(\mu_i \times z_i)}{\sum \mu_i}$$

Penerapan kondisi selisih ini memastikan sistem irigasi tetap adaptif dan mampu memberikan volume air yang sesuai meskipun kondisi lingkungan berada di titik ambang batas.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem kendali irigasi otomatis berbasis IoT menggunakan *ESP32* berhasil direalisasikan dengan kinerja sensor yang sangat akurat, di mana sensor suhu memiliki rata-rata penyimpangan hanya $0,1^{\circ}\text{C}$. Penerapan algoritma logika *Fuzzy Sugeno* terbukti efektif mengatur durasi penyiraman secara adaptif (10 detik saat kering dan 5 detik saat lembap) serta fitur prioritas sensor hujan mampu mencegah *over-watering*. Selain itu, integrasi protokol *MQTT* dan *dashboard Node-RED* memungkinkan pemantauan *real-time* dengan responsivitas tinggi, ditunjukkan oleh rata-rata *delay* pengiriman data yang hanya sebesar 1,2 detik, sehingga sistem ini layak diterapkan untuk efisiensi pertanian di Desa Wonodadi.

5.2 Saran

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan agar sistem dilengkapi dengan catu daya mandiri seperti panel surya dan baterai agar alat tetap beroperasi tanpa bergantung pada pasokan listrik PLN. Selain itu, penggunaan pompa air berkapasitas industri dan modul komunikasi jarak jauh (seperti *LoRa*) sangat direkomendasikan untuk meningkatkan jangkauan irigasi serta kestabilan sinyal data pada implementasi di lahan perkebunan bawang merah yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmoneim, A. A., Kalaany, C. M. Al, Dragonetti, G., & Derardja, B. (2025). Comparative Analysis of Soil Moisture- and Weather-Based Irrigation Scheduling for Drip-Irrigated Lettuce Using Low-Cost *Internet of Things* Capacitive Sensors.
- Abdelmoneim, A. A., Kimaita, H. N., Kalaany, C. M. Al, Derardja, B., & Dragonetti, G. (2026). *IoT* Sensing for Advanced Irrigation Management: A Systematic Review of Trends, Challenges, and Future Prospects. 1–25.
- Abdillah, H. R., Abrianto, H., Sidik, A. D., & Irmayani. (2025). Rancang Bangun Sistem Auto dan Manual Pompa untuk Monitor dan Kontrol Level Air Berbasis *IoT* dengan NodeMCU ESP8266 dan Aplikasi Blynk Haidar. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tama Jagakarsa*, 6(5), 1124–1135.
- Abdul-adheem, W. R. (2020). From PID to Nonlinear State Error Feedback Controller. 8(1), 312–322.
- Abekiri, N., Rachdy, A., Ajaamoum, M., Nassiri, B., Elmahni, L., & Oubail, Y. (2023). Platform for hands-on remote labs based on the ESP32 and. *Scientific African*, 19, e01502. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01502>
- Adi, H., Putra, Z., Sukarno, S. A., & Bandung, P. M. (2025). PENDETEKSIAN DAN PERINGATAN GEMPA BUMI BERBASIS SW-420. 13(2).
- Afif, R., & Hardianto, B. (2023). SISTEM MONITORING DAN PERINGATAN DINI KEBERSIHAN AIR DALAM TANGKI MENGGUNAKAN SENSOR TURBIDITY, TDS, DAN PH DENGAN ARDUINO UNO BERBASIS *IoT*.
- Afriyanti, G., Ana Mariya, C. N., Wijaya, S. N. M. F., & Phalepi, M. Y. (2023). THE ROLE OF THE AGRICULTURAL SECTOR ON ECONOMIC GROWTH IN INDONESIA. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Sciences (IJoMS)*, 2, 167–179.
- Al-hadithi, B. M. (2025). Control of Nonlinear Systems Using Fuzzy Techniques Based on Incremental State Models of the Variable Type Employing the “*Extremum Seeking*” Optimizer. 1–39.

- Alharbi, S., Felemban, A., Abdelrahim, A., & Al-dakhil, M. (2024). Agricultural and Technology-Based Strategies to Improve Water-Use Efficiency in Arid and Semiarid Areas.
- Ali, A., Hussain, T., & Zahid, A. (2025). Smart Irrigation Technologies and Prospects for Enhancing Water Use Efficiency for Sustainable Agriculture.
- Alshammari, H. H. (2023). The *internet of things* healthcare monitoring system based on *MQTT* protocol. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 275–287. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.01.065>
- Aouedi, O., Vu, T., Sacco, A., Nguyen, D. C., & Jun, N. I. (2024). A Survey on Intelligent *Internet of Things*: Applications, Security, Privacy, and Future Directions. 1–56.
- Arbat, G., & Masseroni, D. (2024). The Use and Management of Agricultural Irrigation Systems and Technologies. 1–5.
- Asra, S. A. (2024). Smart irrigation system using Arduino to identify temperature, humidity, pressure, moisture, light intensity, and air quality. 12(10), 66–74.
- Athiyah, U., Handayani, A. P., Aldean, M. Y., & Putra, N. P. (2021). *Journal of Dinda*, 1(2), 73–76.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Pringsewu. (2025). *Luas Panen Tanaman Sayuran dan Buah-Buahan Semusim Menurut Jenis Tanaman di Kabupaten Pringsewu, 2024*. BPS Kabupaten Pringsewu.
- Bassi, S., Gbenga, E., Abidemi, A., Opeoluwa, D., & Mohammed, B. (2022). Metaheuristic algorithms for PID controller parameters tuning: review, approaches and open problems. *Heliyon*, 8(5), e09399. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09399>
- Bwambale, E., et al. (2022). Towards precision irrigation management: A review of GIS, remote sensing and emerging technologies. *Cogent Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2100573>
- Castro-cegrí, A., et al. (2025). Tissue-specific metabolic and phenolic profiling of onion (*Allium cepa* L.) in response to nutrient deficiency. *Food Chemistry*, 493. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145738>

- Choudhary, A. (2024). *Discover Internet of Things: A Comprehensive Overview, Architectures, Applications, Simulation Tools, Challenges and Future Directions*. Springer International Publishing.
- Components101. (2024). *Raindrop Sensor Module – Working and Circuit Diagram*. <https://components101.com/sensors/rain-drop-sensor-module>
- Dominika, M., Azi, N., & Kasi, Y. F. (2025). Program Pelatihan Pembuatan Irigasi Tetes di Desa Podenura Kecamatan Nangaroro Kabupaten Nagekeo. *Samakta*, 2(2), 84–92. <https://doi.org/10.61142/samakta.v2i2.243>
- Elgazzar, K., et al. (2022). Revisiting the *internet of things*: New trends, opportunities and grand challenges. *Frontiers in the Internet of Things*. <https://doi.org/10.3389/friot.2022.1073780>
- Fahmi, A., & Kurniawan, I. (2025). Studi Kinerja Transmisi Data Menggunakan ESP32 dan Raspberry Pi Pico Berbasis Simulasi *Wokwi*. 07(01), 80–87.
- Fezari, M., & Dahoud, A. Al. (2020). *Integrated Development Environment “IDE” For Arduino*.
- Fezari, M., & Zakaria, N. (2020). Comparative study between two powerful *NodeMCU* Modules: ESP32 and ESP8266.
- García-samartín, J. F., Rieker, A., & Barrientos, A. (2024). Design, Manufacturing, and *Open-Loop* Control of a Soft Pneumatic Arm.
- Gea, M. P., et al. (2025). Pengaruh Pemberian Ekstrak Bawang Merah (*Allium cepa* L.) sebagai Zat Pengatur Tumbuh Alami terhadap Pertumbuhan Bibit Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). 13(2), 599–605.
- Gunawan, A., et al. (2025). Perancangan Game Edukasi Matematika Materi Statistika Menggunakan Aplikasi *Scratch* Metode R & D Penggabungan ADDIE Sebagai Media Pembelajaran Interaktif. 4(2), 576–586.
- Gupta, A. J., Kaldate, S., Volaguthala, S., & Mahajan, V. (2025). Onion nutritional and nutraceutical composition and therapeutic potential of its phytochemicals assessed through preclinical and clinical studies. *Journal of Functional Foods*, 129, 106889. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2025.106889>
- HariPriya, A. P. (2022). Secure-*MQTT*: An efficient *fuzzy logic*-based approach to detect DoS attack in *MQTT* protocol for *internet of things*.

- Heryanto, I., Arum, S., & Noor, M. (2025). Sistem Otomasi Suhu dan Kelembaban Pada *Greenhouse* Berbasis Sensor DHT22 dan Mikrokontroler. 12(2).
- Holzappel, E. A., Pannunzio, A., & Lorite, I. (2009). Design and management of irrigation systems. 69, 17–25.
- Islam, R., Patamsetti, V. V., Gadhi, A., & Gondu, R. M. (2023). The Future of *Cloud Computing*: Benefits and Challenges. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 53–65.
- Ivan, Z., et al. (2022). THE USE OF VISUAL ELECTRONIC CIRCUITS MODELLING AND DESIGNING SOFTWARE FRITZING IN THE EDUCATIONAL PROCESS. *Pedagogy*, 1(108), 198-208.
- Jesus, G. De, Duran, P., & On, C. D. G. J. P. (2025). On the Essence and Ontology of Systems. 1–15.
- Jianhong, W., & Ramirez-mendoza, R. A. (2020). The practical analysis for *closed-loop* system identification. *Cogent Engineering*, 7(1).
- Josephine, C. A. (2025). Penerapan Metode *Fuzzy Sugeno* Untuk Prediksi Tingkat Kemiskinan di Surabaya. 7, 1–13.
- Junaidi, & Ramadhani, K. (2024). EFEKTIVITAS *INTERNET OF THINGS (IOT)* PADA SEKTOR PERTANIAN. *Jurnal Teknologi Komputer Dan Sistem Informasi*, 4(1), 12–15.
- Knörig, A., & Cohen, J. (2020). *Fritzing – A tool for advancing electronic prototyping for designers*.
- Kumar, A. L. P. (2023). Animal Intrusion Detection Using ESP32 Cam and *Open CV*. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 8(10), 913–916.
- Lakhiar, I. A., et al. (2024). A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate.
- Lampungprov. (2025). *Harga Bawang Merah di Pasar Lampung*. <https://lampungprov.go.id/pasar/bawangmerah>
- Lima, J. F., Patiño-león, A., & Orellana, M. (2025). Evaluating the Impact of Membership Functions and Defuzzification Methods in a *Fuzzy* System. 1–16.

- Malik, A., Musa, R., & Ashad, H. (2022). Indeks Kinerja Sistem Irigasi Daerah Irigasi Lebani Kabupaten Polewali Mandar. 01(09), 24–32.
- Mansoor, S., Iqbal, S., & Popescu, S. M. (2025). Integration of smart sensors and *IOT* in precision agriculture: Trends, challenges and future prospectives. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869>
- Manuhutu, A., et al. (2025). Mengubah Kehidupan Sehari-hari: Dampak Implementasi *Internet of Things (IoT)*. *Indonesian Research Journal on Education*, 5, 1072–1078.
- Márquez-vera, M. A., et al. (2023). Microcontrollers programming for control and automation in undergraduate biotechnology engineering education. *Digital Chemical Engineering*, 9.
- Muflihati, H., Nirmala, I., & Hidayati, R. (2024). PEMANTAUAN CUACA LOKAL DENGAN SISTEM PENDETEKSI CURAH HUJAN BERBASIS *IoT*. 5(3).
- Multazam, T. (2025). Penerapan *IOT* dalam Sistem Deteksi Kelembapan PH Tanah pada Tanaman Jagung untuk Meningkatkan Hasil Panen. 4(1), 212–220.
- Nurrahmi, S., Miseldi, N., & Syamsu, S. H. (2022). RANCANG BANGUN SISTEM PENYIRAMAN OTOMATIS PADA *GREEN HOUSE* TANAMAN ANGGREK MENGGUNAKAN SENSOR DHT22. *Jurnal Pelangi Fisika*, 11(1), 33–43.
- Omar, A. S., & Mwakondo, F. (2024). Evolution of *Cloud Computing*: Trends, Issues, and Future Directions. 12(3), 102–111.
- Padusan, D., et al. (2025). Instalasi Atap Taman Berbasis Solar Kolam Pemandian Air Panas Berbasis *IOT* Dengan Sensor Suhu Dan Hujan. 9(3), 290–298.
- Palomares-salas, J. C., et al. (2024). Characterization and Performance Evaluation of ESP32 for Synchronized Sensor Networks. *Procedia Computer Science*.
- Parra-lópez, C., et al. (2025). Digital technologies for water use and management in agriculture recent applications and future outlook. *Agricultural Water Management*, 309, 109347. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109347>
- Patel, C., & Doshi, N. (2020). A Novel *MQTT* Security framework In Generic *IoT* Model. *Procedia Computer Science*, 171, 1399–1408.

- Pi, R., & Arigela, A. K. (2024). Remote based Home Automation with *MQTT*: ESP32 Nodes and *Node-RED* on Raspberry Pi.
- Pramudya, R. E., & Andromeda, T. (2025). *Kendali Suhu Menggunakan Kontrol Proporsional Integral*.
- Prasetyo, T. H., & Siradjuddin, I. (2021). Sistem Kendali *Wall Following* Pada Mobile Robot Dengan Penggerak Mekanum Menggunakan Metode *Fuzzy*. *Jurnal Elkolind*, 8(9).
- Premkumar, S. (2022). *IoT-enabled edge computing model for smart irrigation system*. 632–650.
- Raihantoro, D., et al. (2024). Alat Pendeteksi Hujan Dengan Sensor *Raindrop*. 205–208.
- Rajeswari, S. (2024). PHYTOCHEMICAL ANALYSIS AND ANTI OXIDANT ACTIVITY OF *ALLIUM CEPA* L. 11(1), 1–5.
- Rasyad, S., Rahman, A., & Anggara, A. (2025). Alat Monitoring Kondisi Udara Dan Cuaca Pada Ruang Terbuka Berbasis *IoT* Dengan Platfrom Via Telegram. 10(1), 124–133.
- Rumetna, M. S., et al. (2022). Payroll Information System Design Using Waterfall Method. *International Journal of Advances in Data and Information Systems*, 3(1), 1–10.
- Samarth, D. B., et al. (2025). A solar-powered, *internet of things (IoT)*-controlled water irrigation system supported by rainfall forecasts. *Environment, Development and Sustainability*.
- Serepas, F., et al. (2025). Lightweight Embedded *IoT* Gateway for Smart Homes Based on an ESP32 Microcontroller. 1–19.
- Subiksa, G. B., & Kartika, A. S. (2021). Arsitektur *Internet of Things (IoT)* Berskala Industri dengan fitur *Over The Air Update*. *TIERS Information Technology Journal*, 2(1), 31–36.
- Susanna, M. (2024). Pengujian Alat Bantu Ajar Praktikum Sensor dan Aktuator Berbasis *Internet Of Things (IoT)* ESP8266 Menggunakan Aplikasi Blynk dan ThingSpeak. 05(02).

- Syaifudin, A., & Chamidah, N. (2023). Prototipe Alat monitoring Suhu dan Kelembaban pada Rumah Penyimpan Tembakau Berbasis *Internet of Thing (IoT)*. 13, 177–182.
- Syas, I. Y., & Rakhmadi, F. A. (2020). PROTOTIPE SISTEM MONITORING SERTA KENDALI SUHU DAN KELEMBAPAN RUANGAN BUDIDAYA JAMUR TIRAM PUTIH MENGGUNAKAN SENSOR DHT22. 1(1), 7–13.
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*.
- Wahyu Aji, P., & Fahrur Riza, P. (2025). Monitoring Kelembaban Tanah Pada Tanaman Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah YL-69. *Jurnal Mutiara Elektromedik*, 9(1), 10–18.
- Wahyudi, W., Pradana, A. I., & Permatasari, H. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis *IoT* untuk Pertanian *Greenhouse*. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 5(2), 435–446.
- Wang, Y., et al. (2021). A survey on control for *Takagi-Sugeno fuzzy* systems subject to engineering-oriented complexities.
- Widia, I. D. M., Mahmudy, W. F., & Batoro, J. (2025). A new strategy for managing methane emission in landfills using *internet of things* and *fuzzy sugeno logic*.
- Widodo, A., & Sumaedi, A. (2023). Prototipe Deteksi Hujan Berbasis Arduino Uno Menggunakan *Rain Drop Sensor Module*. 18–24.
- Yonatan, Y. K., Mukti, A. T., & Firmansyah, R. N. (2025). Analisa Penerapan Sensor Suhu Menggunakan Arduino Uno di dalam Sistem Pertanian *GreenHouse*: Sensor DHT22. 4(1), 39–46.
- Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A Review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18.