

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM IOT
UNTUK MONITORING WAKTU DAN STATUS
PROSES FERMENTASI TEMPE BERBASIS
WEBSITE MENGGUNAKAN ALGORITMA
LOGIKA FUZZY MAMDANI**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

MFarhan

2209020186



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM IOT
UNTUK MONITORING WAKTU DAN STATUS
PROSES FERMENTASI TEMPE BERBASIS
WEBSITE MENGGUNAKAN ALGORITMA
LOGIKA FUZZY MAMDANI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi.
pada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi,
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**

**M Farhan
2209020186**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi Perancangan Dan Implementasi Sistem IoT Untuk
Monitoring Waktu Dan Status Proses Fermentasi
Tempe Berbasis Website Menggunakan Algoritma
Logika Fuzzy Mamdani

Nama Mahasiswa : M Farhan

NPM 2209020186

Program Studi : Teknologi Informasi

Menyetujui
Komisi Pembimbing



(Dr. March Doly Nasution, S.Pd., M.Si.)

NIDN. 0115057302

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom.)

NIDN. 017019301



Dekan

(Dr. Al-Khozaifah, S.Kom., M.Kom.)

NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM IOT UNTUK MONITORING WAKTU DAN STATUS PROSES FERMENTASI TEMPE BERBASIS WEBSITE MENGGUNAKAN ALGORITMA LOGIKA FUZZY MAMDANI

SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ini disusun berdasarkan hasil kerja saya sendiri, kecuali kutipan dan rangkuman yang sumbernya telah disebutkan.

Medan, Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan

A handwritten signature in black ink is written over a 10,000 Rupiah Indonesian banknote. The banknote is yellow and orange, featuring the Garuda Pancasila emblem and the number '10000'. The signature is a cursive, stylized name.

M Farhan
NPM. 2209020186

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai bagian dari sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M Farhan
NPM : 2209020186
Program Studi : Teknologi Informasi
Karya Ilmiah : Skripsi

Dalam rangka mendukung perkembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah skripsi saya yang berjudul "Perancangan dan Implementasi Sistem IoT untuk Monitoring Waktu dan Status Proses Fermentasi Tempe Berbasis Website Menggunakan Algoritma Logika Fuzzy Mamdani", beserta perangkat pendukungnya apabila diperlukan. Dengan diberikannya Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berwenang untuk menyimpan, mengalihkan media atau format, mengelola dalam bentuk pangkalan data, merawat, serta memublikasikan skripsi tersebut tanpa perlu meminta persetujuan kembali dari saya, dengan ketentuan bahwa nama saya tetap dicantumkan sebagai penulis serta sebagai pemegang atau pemilik hak cipta.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Medan, Agustus 2026

Yang Membuat Pernyataan



M Farhan
NPM. 2209020186

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : M Farhan
Tempat dan Tanggal Lahir : Medan, 26 November 2004
Alamat rumah : Jln Marelan Raya T600 , Gg Seroja No 127, Link X
Telepon/Faks/HP : 082362881241
E-mail : rexpro2611@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD : SD SWASTA MELATI TAMAT : 2016
SMP : SMP NEGERI 38 MEDAN TAMAT : 2019
SMA : SMA SWASTA DHARMAWANGSA MEDAN TAMAT : 2022

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah rabbil ‘aalamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul:

**“PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM IoT UNTUK
MONITORING WAKTU DAN STATUS PROSES FERMENTASI TEMPE
BERBASIS WEBSITE MENGGUNAKAN ALGORITMA
LOGIKA FUZZY MAMDANI”.**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) pada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, doa, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd.**, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. **Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.**, selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. **Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom., M.Kom.**, selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. **Bapak Mhd Basri, S.Si., M.Kom.**, selaku Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. **Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom.**, selaku Ketua Program Studi Teknologi Informasi.
6. **Bapak Dr. Marah Doly Nasution, S.Pd., M.Si.**, selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu serta memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan Staf Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pelayanan selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
8. **Ibu Kartiani , Anjelika dan M Mustafa Kamal** ,yang merupakan ibu sekaligus keluarga penulis selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta saudara kandung penulis yaitu menjadi sumber semangat bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan.
9. **Almarhum Bapak tercinta yang bernama M Jamal** ,meskipun beliau telah tiada, tetapi beliau merupakan sosok yang selalu penulis kenang dan menjadi sumber motivasi. Segala doa, nasihat, kasih sayang, dan perjuangan beliau menjadi kekuatan bagi penulis untuk menyelesaikan pendidikan ini.
10. **Nadya Rahmi R**, yang selalu memberikan dukungan, motivasi, perhatian, dan semangat selama proses penyusunan skripsi ini.
11. **Stay Gaming**, sebagai sekumpulan sahabat yang selalu memberikan dukungan, semangat, kebersamaan, serta menemani penulis dalam berbagai keadaan selama proses penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang Internet of Things (IoT), monitoring fermentasi tempe, website, dan Logika Fuzzy Mamdani.

Perancangan Dan Implementasi Sistem Iot Untuk Monitoring Waktu Dan Status Proses Fermentasi Tempe Berbasis Website Menggunakan Algoritma Logika Fuzzy Mamdani

ABSTRAK

Proses fermentasi tempe pada umumnya masih dilakukan secara manual dengan mengandalkan pengalaman dalam menentukan kondisi dan waktu kematangan tempe. Kondisi tersebut menyebabkan proses pemantauan suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi kurang optimal serta berpotensi menimbulkan ketidaktepatan dalam menentukan waktu panen. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Internet of Things (IoT) untuk monitoring waktu dan status proses fermentasi tempe berbasis website menggunakan algoritma Logika Fuzzy Mamdani. Sistem menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, serta RTC DS3231 untuk mencatat waktu fermentasi. Data yang diperoleh diproses menggunakan algoritma Fuzzy Mamdani dengan parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi untuk menentukan status fermentasi berupa Belum Matang, Siap Panen, atau Over Fermentasi. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D), yang meliputi tahapan identifikasi masalah, pengumpulan data, perancangan sistem, pembuatan sistem, pengujian, evaluasi, dan perbaikan. Data hasil monitoring dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan secara real-time pada website serta LCD, kemudian disimpan sebagai riwayat monitoring. Penerapan sistem ini diharapkan dapat membantu pengguna melakukan pemantauan kondisi fermentasi secara lebih efektif, informatif, dan objektif serta membantu menentukan status fermentasi berdasarkan kombinasi parameter suhu, kelembapan, dan waktu.

Kata kunci : Internet of Things (Iot), Fermentasi Tempe, ESP32, DHT22, RTC DS3231, Website, Logika Fuzzy Mamdani.

Design and Implementation of a Website-Based IoT System for Monitoring Tempeh Fermentation Time and Status Using the Mamdani Fuzzy Logic Algorithm

ABSTRACT

Tempeh fermentation is generally still carried out manually, relying on experience to determine the conditions and timing of maturity. This approach results in suboptimal monitoring of temperature, humidity, and fermentation duration, potentially leading to inaccuracies in determining the harvest time. This study aims to design and implement a website-based Internet of Things (IoT) system for monitoring tempeh fermentation time and status using the Mamdani Fuzzy Logic algorithm. The system utilizes an ESP32 as the main microcontroller, a DHT22 sensor to measure temperature and humidity, and an RTC DS3231 to track fermentation time. The collected data is processed via the Mamdani Fuzzy Logic algorithm—using temperature, humidity, and fermentation time as parameters—to determine the fermentation status: Not Yet Mature, Ready to Harvest, or Over-fermented. The study employs the Research and Development (R&D) method, comprising stages such as problem identification, data collection, system design, system construction, testing, evaluation, and refinement. Monitoring data is transmitted via Wi-Fi and displayed in real-time on both a website and an LCD, while also being stored as a monitoring history. The implementation of this system is expected to assist users in monitoring fermentation conditions more effectively, informatively, and objectively, while also helping to determine fermentation status based on a combination of temperature, humidity, and time parameters.

Keywords : Internet of Things (IoT), Tempeh Fermentation, ESP32, DHT22, RTC DS3231, Website, Mamdani Fuzzy Logic

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tempe	8
2.2 Fermentasi Tempe.....	8
2.3 Sistem Monitoring	8
2.4 Internet Of Things.....	9
2.5 Website.....	12
2.6 HTML	12
2.7 Mikrokontroler	13
2.7.1 Modul ESP32.....	13
2.7.2 Modul LCD 16x2.....	14
2.7.3 Sensor DHT22	15
2.7.4 Lampu	15
2.7.5 Relay.....	16
2.7.6 Breadboard	17
2.7.7 Kabel Jumper	17
2.7.8 Dc Fan	18
2.7.9 Rtc Ds3231	18

2.7.10	Buzzer	19
2.7.11	LED.....	19
2.7.12	Resistor.....	20
2.8	Bootstrap	21
2.9	Arduino IDE.....	21
2.10	Draw Io	22
2.11	Fuzzy.....	22
2.12	Penelitian Terdahulu	23
2.13	ANALISIS GAP	24
2.14	Flowchart.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1	Metode Penelitian.....	29
3.2	Prosedur Penelitian.....	29
3.3	Rancangan Kerja Alat	33
3.4	Perancangan Algoritma Fuzzy	39
3.5	Lokasi dan Jadwal Penelitian	45
3.6	Alat dan Bahan Penelitian	46
3.7	Perancangan Prototipe	48
3.8	Diagram Blok.....	49
3.9	Rancangan Website	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Hasil Implementasi Sistem.....	51
4.2	Implementasi Perangkat Keras.....	52
4.3	Implementasi Perangkat Lunak.....	53
4.4	Implementasi Alur Kerja Sistem	54
4.5	Implementasi Logika Fuzzy Mamdani	55
4.6	Pengujian Komunikasi Data.....	58
4.7	Pengujian Website.....	59
4.8	Pengujian sistem keseluruhan	60
4.9	Pengujian Proses Fermentasi Tempe.....	62
4.10	Pembahasan.....	63
BAB V PENUTUP		69
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penerapan IOT	26
Tabel 2.2 Ringkasan Penelitian Terdahulu.....	37
Tabel 2.3 Simbol Flowchart	41
Tabel 3.1 Variabel Input dan Output.....	55
Tabel 3.2 Himpunan Fuzzy Suhu	56
Tabel 3.3 Himpunan Fuzzy Kelembapan	56
Tabel 3.4 Himpunan Fuzzy Waktu Fermentasi.....	57
Tabel 3.5 Rule Base Fuzzy	57
Tabel 3.6 Jadwal Penelitian	58
Tabel 3.7 Perangkat Keras	59
Tabel 3.8 Perangkat Lunak	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses dalam Memonitoring	24
Gambar 2.2 Konsep IOT	25
Gambar 2.3 Modul ESP32	28
Gambar 2.4 LCD 16x2	29
Gambar 2.5 bentuk sensor DHT22	29
Gambar 2.6 Ilustrasi Lampu Pijar	30
Gambar 2.7 Bentuk Relay	31
Gambar 2.8 Papan Breadboard.....	31
Gambar 2.9 Kabel Jumper.....	32
Gambar 2.10 Dc Fan	32
Gambar 2.11 Sensor Rtc DS3231	33
Gambar 2.12 Buzzer	35
Gambar 2.13 LED	36
Gambar 2.14 Resistor.....	36
Gambar 2.15 Logo Bootstrap	37
Gambar 2.16 Arduino.....	37
Gambar 2.17 Draw Io.....	38
Gambar 2.18 Logika Fuzzy	38
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	44
Gambar 3.2 Rancangan Kerja Alat	36
Gambar 3.3 Perancangan Prototipe	61
Gambar 3.4 Diagram Blok	63
Gambar 3.5 Rancangan Website.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tempe adalah produk fermentasi asli Indonesia yang telah lama dikenal secara turun temurun dan menjadi hidangan sehari-hari oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Seiring dengan bertambahnya waktu, tempe juga mulai digemari oleh berbagai kelompok masyarakat di berbagai belahan dunia, utamanya dari berbagai negara barat seperti Eropa dan Amerika Serikat. Tempe dalam ejaan bahasa Indonesia atau dalam bahasa Inggris dikenal sebagai “tempeh” adalah nama kolektif untuk produk pangan hasil fermentasi kacang-kacangan atau biji-bijian oleh kapang fermentatif dari jenis *Rhizopus* sp. Tempe berbentuk massa yang kompak dan dapat diiris.

Jenis kacang-kacangan yang banyak digunakan sebagai bahan baku tempe adalah kacang kedelai yang berwarna kuning.(Rindit et al. 2015) Tempe mengandung berbagai nutrisi yang diperlukan oleh tubuh seperti protein, lemak, karbohidrat, dan mineral. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa zat gizi tempe lebih mudah dicerna, diserap, dan dimanfaatkan tubuh. Hal ini dikarenakan kapang yang tumbuh pada kedelai menghidrolisis senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana yang mudah dicerna oleh manusia

Proses fermentasi tempe dapat dibedakan atas tiga fase, yaitu Fase pertumbuhan cepat (0-30 jam fermentasi) terjadi peningkatan jumlah asam lemak bebas, peningkatan suhu, pertumbuhan kapang yang cepat terlihat dengan terbentuknya miselia pada permukaan biji yang semakin banyak sehingga menunjukkan massa yang lebih kompak. Fase transisi (30-50 jam fermentasi) merupakan fase optimal fermentasi tempe dan siap untuk dipasarkan. Pada fase ini terjadi penurunan suhu dan jumlah asam lemak yang dibebaskan, pertumbuhan

jamur hampir tetap atau bertambah sedikit, flavor spesifik tempe optimal, dan tekstur lebih kompak. Fase pembusukan atau fermentasi lanjut (50-90 jam fermentasi) terjadi peningkatan jumlah bakteri dan jumlah asam lemak bebas, pertumbuhan jamur menurun dan pada kadar air tertentu pertumbuhan jamur terhenti, terjadi perubahan flavor karena penguraian protein lanjut sehingga terbentuk amonia. (Sine and Soetarto 2021)

Pada praktik di lapangan, sebagian besar proses fermentasi tempe pada industri rumah tangga masih dilakukan secara manual dan mengandalkan perkiraan. Para produsen umumnya menggunakan pengalaman pribadi untuk menentukan waktu kematangan tempe dan kesiapan produk untuk dipasarkan. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya kesulitan dalam memantau kondisi fermentasi secara real-time, ketidakakuratan dalam menentukan waktu panen yang optimal, serta adanya risiko kegagalan produksi akibat kesalahan dalam memperkirakan durasi fermentasi.

Pada umumnya, dalam pembuatan dan proses fermentasi tempe para produsen tempe masih menggunakan cara manual. Pada cuaca dingin, tempe biasanya ditutupi dengan kain atau penutup lain supaya suhu pada tempe tetap stabil dan tempe dapat matang tepat waktu. Saat melakukan ini, mereka tidak tahu berapa suhu dan kelembaban dalam ruangan tersebut. Sehingga dibutuhkan suatu alat yang dapat memonitoring fermentasi tempe, salah satunya dengan memanfaatkan internet sehingga dapat dilakukan monitoring suhu ruangan fermentasi tempe dari jarak jauh dan secara berkala. (Muzakki Andoko et al. 2018)

Kemajuan teknologi saat ini, terutama dalam bidang Internet of Things (IoT), membuka peluang besar untuk meningkatkan efisiensi dan ketepatan dalam proses produksi pangan fermentasi. Teknologi IoT memungkinkan proses pengukuran dan pemantauan berbagai parameter secara real-time serta dapat diakses melalui jaringan internet. Dengan penerapan sistem monitoring berbasis IoT, proses

fermentasi dapat diawasi secara lebih sistematis dan terukur.

Suatu jaringan kerja dari prosedur-prosedur yang saling berhubungan, berkumpul bersama sama untuk melakukan suatu kegiatan atau untuk menyelesaikan suatu sasaran tertentu biasanya disebut sistem. Website dapat diakses menggunakan browser di smartphone, akan tetapi data yang ditampilkan tidak selengkap di dekstop. Sehingga untuk kebutuhan diatas, dibutuhkan sebuah aplikasi yang dapat diakses menggunakan smartphone serta dapat menampilkan data yang lengkap sehingga mempermudah petugas dalam hal monitoring data tempe.

Penggunaan platform berbasis website sebagai media monitoring memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengakses informasi secara fleksibel dari berbagai perangkat. Sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan data ditampilkan secara real-time melalui dashboard web sehingga dapat diakses kapan saja dan dimana saja selama terhubung dengan jaringan internet. Dengan adanya sistem ini, proses pemantauan menjadi lebih efektif dibandingkan metode manual dan dapat membantu meningkatkan kualitas serta konsistensi hasil produksi.

Solusi IoT diterapkan untuk dapat diperluas ke dalam fermentasi tempe, termasuk penerapan kontrol meteran cerdas. IoT menyediakan kemampuan untuk mengukur dan menyimpan data dari sensor, berkomunikasi dengan perangkat lainnya, membuat keputusan, dan memisahkan. Penerapan konsep IoT dalam metering cerdas memiliki potensi untuk mengubah bangunan menjadi lingkungan yang sadar energi.

Berdasarkan hasil analisis terhadap penelitian-penelitian terdahulu, diketahui bahwa pengembangan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) telah banyak dilakukan, begitu pula dengan penerapan metode Logika Fuzzy pada berbagai bidang. Akan tetapi, sebagian besar penelitian masih terbatas pada

pemantauan suhu dan kelembapan atau hanya memanfaatkan metode fuzzy pada parameter tertentu. Selain itu, berdasarkan penelitian terdahulu yang digunakan dalam penelitian ini, belum ditemukan penelitian yang mengintegrasikan parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi menggunakan algoritma Logika Fuzzy Mamdani pada sistem monitoring fermentasi tempe berbasis website. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan sistem yang mampu mengolah ketiga parameter tersebut untuk menentukan status fermentasi tempe secara otomatis serta menyajikan hasil monitoring secara real-time melalui website. Dengan adanya sistem ini, proses monitoring diharapkan menjadi lebih efektif, informatif, dan mampu membantu pengguna dalam mengetahui kondisi fermentasi tempe secara lebih objektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem monitoring waktu dan status proses fermentasi tempe berbasis website menggunakan teknologi Internet of Things (IoT)?
2. Bagaimana memantau suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi tempe secara real-time menggunakan sistem berbasis IoT?
3. Bagaimana menerapkan algoritma Logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan status fermentasi tempe berdasarkan parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi?
4. Bagaimana menampilkan hasil monitoring dan status fermentasi tempe secara real-time melalui website?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini ditetapkan agar pembahasan lebih terarah dan tidak meluas ke aspek lain di luar fokus penelitian, sehingga perancangan sistem monitoring

fermentasi tempe berbasis IoT dan website dapat dilakukan secara optimal.

Berikut ini batasan masalah penelitian ini:

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem yang hanya melakukan pemantauan waktu dan status proses fermentasi tempe, tanpa mencakup keseluruhan tahapan produksi tempe.
2. Parameter yang diamati dalam sistem meliputi lama waktu fermentasi, suhu, dan kelembapan lingkungan, yang digunakan sebagai indikator utama keberhasilan proses fermentasi tempe.
3. Sistem yang dikembangkan menerapkan konsep Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler, seperti ESP32 sebagai pusat pengolahan data dari sensor.
4. Sistem yang dikembangkan berfungsi sebagai media monitoring dan pengendalian sederhana terhadap kondisi suhu ruang fermentasi menggunakan relay yang terhubung dengan perangkat keluaran berupa lampu pemanas dan kipas.
5. Website yang dikembangkan berperan sebagai dashboard monitoring, yang menyajikan informasi terkait waktu fermentasi, status proses fermentasi, serta data historis hasil pemantauan.
6. Penentuan status fermentasi dilakukan menggunakan metode Logika Fuzzy berdasarkan parameter suhu, kelembapan, dan waktu.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring waktu dan status proses fermentasi tempe berbasis website menggunakan teknologi Internet of Things (IoT).
2. Mengembangkan sistem yang mampu memantau suhu kelembapan, dan

waktu fermentasi tempe secara real-time menggunakan teknologi Internet of Things (IoT).

3. Menerapkan algoritma Logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan status fermentasi tempe berdasarkan parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi.
4. Menyajikan hasil monitoring serta status fermentasi tempe secara real-time melalui website sehingga informasi dapat diakses dengan mudah oleh pengguna.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, baik secara teoritis maupun praktis, dalam pengembangan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dan pengalaman dalam merancang serta mengimplementasikan system berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan modul waktu RTC DS3231 dan platform website.
2. Membantu proses monitoring fermentasi tempe secara real-time sehingga dapat menentukan waktu kematangan dengan lebih akurat serta meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil produksi.
3. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem monitoring berbasis IoT, khususnya yang memanfaatkan sensor dan website dalam proses pengolahan data secara real-time.
4. Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi IoT yang terintegrasi serta membuka peluang penerapan metode pengambilan keputusan seperti Logika Fuzzy untuk meningkatkan akurasi sistem di masa mendatang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tempe

Tempe merupakan salah satu produk fermentasi tradisional khas Indonesia yang telah dikonsumsi secara luas oleh masyarakat dari berbagai lapisan. Produk ini umumnya dibuat dari kedelai yang difermentasi menggunakan kapang dari genus *Rhizopus*, khususnya *Rhizopus oligosporus*. Selama proses fermentasi, kapang *Rhizopus* tidak hanya membantu dalam pemecahan senyawa kompleks seperti protein dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah diserap tubuh, tetapi juga menghasilkan senyawa bioaktif yang dapat berfungsi sebagai agen antimikroba alami.

Tempe merupakan pangan fermentasi yang diolah dari biji kacang-kacangan yang ditambahkan ragi atau jamur yang kemudian diperam hingga terbentuk miselia yang menyelubungi permukaan. Pangan fermentasi ini sangat familiar di masyarakat dan menjadi bahan baku aneka macam olahan kuliner. Tempe menjadi salah satu sumber protein nabati yang terjangkau oleh semua lapisan masyarakat, sehingga menjadi sumber gizi yang murah. Gizi pada tempe adalah peptida dan asam amino hasil perombakan protein pada kacang-kacangan oleh jamur dengan bantuan enzim protease. (Zahroh 2025).

Asal-usul dan sejarah tempe cukup unik, karena di antara produk pangan olahan kedelai secara tradisional, tempe adalah satu-satunya produk olahan kedelai fermentasi asli Indonesia yang tidak berasal dari China atau Jepang seperti berbagai produk olahan kedelai lainnya. Produk olahan kedelai seperti tahu dan kecap berasal dari China sedangkan miso berasal dari Jepang. Penelusuran asal usul tempe di Indonesia telah dilaporkan oleh beberapa peneliti dalam berbagai buku maupun jurnal. Referensi awal telah ditulis dalam tulisan sastra Indonesia sejak awal tahun 1800-an, namun tempe diyakini telah berkembang jauh sebelum waktu itu.

Bukti sejarah menunjukkan bahwa tempe kedelai merupakan produk fermentasi yang dibuat pertama kali oleh orang Jawa Tengah dan muncul sekitar tahun 1700. Pada tahun

1875 istilah tempe didefinisikan dalam kamus Jawa-Belanda sebagai: kedelai yang difermentasi, berbentuk padat yang dikonsumsi dengan cara dipanggang atau digoreng. Pada tahun 1895 ahli mikrobiologi dan kimia dari Belanda telah mulai mengidentifikasi tempe. Sampai saat ini, telah banyak publikasi mengenai tempe yang terkait dengan sifat mikrobiologi dari larunya, teknologi proses serta perubahan biokimia dan nilai gizi selama proses fermentasi tempe.(Rindit et al. 2015)

2.2 Fermentasi Tempe

Proses fermentasi kedelai dalam proses pembuatan tempe merupakan tahapan yang paling penting untuk menghasilkan produk tempe yang diinginkan. Proses fermentasi menyebabkan perubahan kimia maupun fisik pada biji kedelai, sehingga dapat meningkatkan derajat keasaman, kadar protein sebesar 18%, serta nilai sensorisnya. Ragi yang digunakan dalam konsentrasi yang tepat pada pembuatan tempe dapat menghasilkan tempe dengan kualitas yang baik. Konsentrasi ragi yang sesuai dapat memastikan pertumbuhan yang optimal dan jamur *Rhizopus* yang seragam sehingga dapat menghasilkan tekstur yang baik dan rasa yang lezat. Kemampuan kapang atau ragi yang digunakan dalam proses fermentasi juga memiliki peran untuk meningkatkan flavour tempe.

Optimalisasi penggunaan ragi pada berbagai konsentrasi saat proses fermentasi tempe telah dilakukan. Penambahan ragi *Cap Jago* pada substrat bekatul jagung yang menghasilkan ragi tempe dengan total kapang terbanyak 20% dan penambahan ragi tempe sebanyak 0,05% dengan substrat bekatul menghasilkan tempe dengan karakteristik terbaik. Melakukan optimalisasi pembuatan tempe biji melinjo dan menghasilkan tempe dengan karakteristik terbaik pada konsentrasi ragi 1% dengan waktu fermentasi 24 jam.

2.3 Sistem Monitoring

Monitoring adalah pemantauan yang dapat dijelaskan sebagai kesadaran tentang apa yang ingin diketahui, pemantauan berkadar tingkat tinggi dilakukan agar dapat

membuat pengukuran melalui waktu yang menunjukkan pergerakan ke arah tujuan atau menjauh dari posisi awal. Monitoring adalah penilaian yang terus menerus terhadap fungsi kegiatan-kegiatan proyek di dalam konteks jadwal-jadwal pelaksanaan dan terhadap penggunaan input-input proyek oleh kelompok sasaran di dalam konteks harapan-harapan rancangan. Berdasarkan dari kedua definisi Monitoring tersebut, dapat disimpulkan bahwa Monitoring adalah pengawasan atau pemantauan terhadap suatu kegiatan sehingga menghasilkan sebuah informasi yang berguna. Informasi yang dihasilkan dapat mempermudah dalam mengambil keputusan terhadap kegiatan kedepannya. Secara garis besar tahapan dalam sebuah sistem Monitoring terbagi ke dalam tiga proses besar seperti yang terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.1 Proses dalam Memonitoring

Proses-proses yang terjadi pada suatu sistem Monitoring dimulai dari pengumpulan data seperti data dari network traffic, hardware information, dan lain-lain yang kemudian data tersebut dianalisis pada proses analisis data dan pada akhirnya data tersebut akan ditampilkan.(Usman 2013)

2.4 Internet Of Things

Internet of Things atau dikenal juga dengan singkatan IoT, merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus yang memungkinkan kita untuk menghubungkan mesin, peralatan, dan benda fisik lainnya dengan sensor jaringan dan aktuator untuk memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga memungkinkan mesin untuk berkolaborasi dan bahkan bertindak berdasarkan informasi baru yang diperoleh secara independen.(Muzakki Andoko et al. 2018)

Internet Of Things atau sering disebut IoT adalah sebuah gagasan dimana semua

benda di dunia nyata dapat berkomunikasi satu dengan yang lain sebagai bagian dari satu kesatuan sistem terpadu menggunakan jaringan internet sebagai penghubung misalnya CCTV yang terpasang di sepanjang jalan dihubungkan dengan koneksi internet dan disatukan di ruang kontrol yang jaraknya mungkin puluhan kilometer atau sebuah rumah cerdas yang dapat dimanage lewat smartphone dengan bantuan koneksi internet. pada dasarnya perangkat IoT terdiri dari sensor sebagai media pengumpul data, sambungan internet sebagai media komunikasi dan server sebagai pengumpul informasi yang diterima sensor dan untuk Analisa.

Ide awal Internet of Things pertama kali dimunculkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 di salah satu presentasinya. Kini banyak perusahaan besar mulai mendalami Internet of Things sebut saja Intel, Microsoft, Oracle, dan banyak lainnya. Banyak yang memprediksi bahwa pengaruh Internet of Things adalah “ the next big thing ” di dunia teknologi informasi, hal ini karena IoT menawarkan banyak potensi yang bisa digali. Contoh sederhana manfaat dan implementasi dari Internet of Things misalnya adalah kulkas yang dapat memberitahukan kepada pemiliknya via SMS atau email tentang makanan dan minuman apa saja yang sudah habis dan harus distok lagi.(Efendi 2018)

2.4.1 Cara kerja Internet Of Things

Konsep IoT ini sebetulnya cukup sederhana dengan cara kerja mengacu pada 3



elemen utama pada arsitektur IoT, yakni: Barang Fisik yang dilengkapi modul IoT, Perangkat Koneksi ke Internet seperti Modem dan Router Wireless Speedy seperti di rumah anda, dan Cloud Data Center tempat untuk menyimpan aplikasi beserta data base.

Gambar 2.2 Konsep IOT

Dasar prinsip kerja perangkat IoT adalah benda di dunia nyata diberikan identitas unik dan dapat dikali di sistem komputer dan dapat di representasikan dalam bentuk data di sebuah sistem komputer. Pada awal-awal implementasi gagasan IoT pengenalan yang digunakan agar benda dapat diidentifikasi dan dibaca oleh komputer adalah dengan menggunakan kode batang (Barcode), Kode QR (QR Code) dan Identifikasi Frekuensi Radio (RFID). Dalam perkembangannya sebuah benda dapat diberi pengenalan berupa IP address dan menggunakan jaringan internet untuk bisa berkomunikasi dengan benda lain yang memiliki pengenalan IP address.(Efendi 2018)

Cara Kerja internet of Things yaitu dengan memanfaatkan sebuah argumentasi pemrograman yang dimana setiap perintah argumennya itu menghasilkan sebuah interaksi antara sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan dalam jarak berapa pun. Internet yang menjadi penghubung di antara kedua interaksi mesin tersebut, sementara manusia hanya bertugas sebagai pengatur dan pengawas bekerjanya alat tersebut secara langsung.(Efendi 2018)

2.4.2 Implementasi IOT

Seiring perkembangan teknologi, mesin dibuat agar pekerjaan manusia menjadi lebih mudah, pada awalnya mesin dibuat hanya untuk membantu manusia dan dioperasikan secara manual, lambat laun mesin bisa berjalan sendiri (otomatis), tetapi dalam perkembangannya pemanfaatan mesin sebagai alat dalam sebuah sistem akan menemui kendala jika sudah menyangkut jarak dan waktu. dengan jarak yang begitu jauh maka mesin tidak akan bisa berinteraksi dengan mesin yang lain, untuk mengatasi hal inilah diterapkan gagasan internet of things dimana semua mesin dengan pengenalan IP address dapat menggunakan jaringan internet sebagai media komunikasi (Saling bertukar data).(Efendi 2018)

Tabel 2.1 Penerapan IOT

Implementasi IoT Dalam Bidang Keamanan	Pengamanan menggunakan kamera CCTV di rumah, jalan dan gedung dapat dikontrol dimana saja
Implementasi IoT Dalam Bidang Property	Eskalator, Sistem Pendingin Gedung, Sistem Keamanan, CCTV, Sistem Administrasi, Kelistrikan, Instalasi Saluran Air Dan Gas Dan Lain Sebagainya.
Implementasi IoT dalam bidang Medis	Pemasangan sensor detak jantung dan sensor yang lain pada pasien yang terhubung ke ruang pusat kontrol untuk memonitor keadaan pasien secara otomatis dan memberikan peringatan jika terjadi hal buruk, sistem pembayaran rumah sakit

2.5 Website

Website dapat diartikan sebagai kumpulan halaman yang berisi informasi data digital baik berupa teks, gambar, animasi, suara dan video atau gabungan dari semuanya yang disediakan melalui jalur koneksi internet sehingga dapat diakses dan dilihat oleh semua orang di seluruh dunia. Halaman website dibuat menggunakan bahasa standar yaitu HTML. Skrip HTML ini akan diterjemahkan oleh web browser sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk informasi yang dapat dibaca oleh semua orang. Secara umum, website dibagi menjadi 3 jenis, yaitu website statis, dinamis, dan interaktif. (Permata Sari n.d.)

2.6 HTML

Hypertext Markup Language (HTML) adalah sebuah bahasa markah yang digunakan untuk membuat sebuah halaman web, menampilkan berbagai informasi di dalam sebuah penjelajah web Internet dan pemformatan hiperteks sederhana yang ditulis dalam berkas format ASCII agar dapat menghasilkan tampilan wujud yang terintegrasi. Dengan kata lain, berkas yang dibuat dalam perangkat lunak pengolah kata dan disimpan dalam format ASCII normal sehingga menjadi halaman web dengan perintah-perintah HTML. Bermula dari sebuah bahasa yang sebelumnya banyak digunakan di dunia penerbitan dan percetakan yang disebut dengan SGML (Standard Generalized Markup Language), HTML adalah sebuah standar yang digunakan secara luas untuk

menampilkan halaman web.

HTML saat ini merupakan standar Internet yang didefinisikan dan dikendalikan penggunaannya oleh World Wide Web Consortium (W3C). HTML dibuat oleh kolaborasi Caillau TIM dengan Berners-lee Robert ketika mereka bekerja di CERN pada tahun 1989. (Permata Sari n.d.)

2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip IC, sehingga sering disebut single chip microcomputer. Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik, berbeda dengan PC (Personal Computer) yang memiliki beragam fungsi. Perbedaan lainnya adalah perbandingan RAM dan ROM yang sangat berbeda antara komputer dengan mikrokontroler. Mikrokontroler adalah sebuah sistem microprocessor dimana didalamnya sudah terdapat CPU, ROM, RAM, I/O, Clock dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi (teralamat) dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu chip yang siap pakai. Sehingga kita tinggal memprogram isi ROM sesuai aturan penggunaan oleh pabrik yang membuatnya. (Putra, A., & Paramarta 2022)

2.7.1 Modul ESP32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler multifungsi yang dikembangkan oleh Espressif, sangat umum digunakan dalam banyak aplikasi. Contohnya termasuk sambungan robot, pengisi daya mobil pintar, otomatisasi pertanian, sistem pemantauan energi, dan kamera pengintai bergerak sederhana. ESP32 merupakan sistem mikrokontroler yang digunakan untuk merekam data dari beberapa sensor dan pengukurannya dikirimkan melalui wifi server klien. ESP32 akan berada dalam mode tidur dan akan meminta tanggal serta waktu kepada NTP (Network Time Protocol). ESP32 memungkinkan sistem pemantauan real-time untuk konsumsi energi dan air, deteksi pH, dan akses data jarak jauh melalui Wifi, memberdayakan pengguna untuk

membuat keputusan berdasarkan informasi tentang konservasi sumber daya.(Lianawati et al. 2024)



Gambar 2.3 Modul ESP32

Sumber : <https://raharja.ac.id/mikrokontroler-esp32-3/>

2.7.2 Modul LCD 16x2

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD (Liquid Crystal Display) bisa menampilkan suatu gambar/karakter dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (pixel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai titik cahaya. Walau disebut sebagai titik cahaya, namun Kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri. LCD 16x2 dapat menampilkan sebanyak 32 karakter yang terdiri dari 2 baris dan tiap baris dapat menampilkan 16 karakter. (Wahyu Januari 2018)



Gambar 2.4 LCD 16x2

Sumber : <https://www.electronicwings.com/sensors-modules/lcd-16x2-display-module>

2.7.3 Sensor DHT22

DHT22 adalah sensor suhu dan kelembaban yang dirancang khusus untuk 1 paket. Konsumsi daya yang digunakan oleh sensor sangat rendah sehingga cocok digunakan untuk monitoring suhu dalam ruangan. DHT22 memiliki rentang ukur suhu pada sensor 0% sampai 100% sedangkan kelembaban memiliki ukur sekitar 40oC hingga 125oC. Sensor ini memiliki tiga buah pin yaitu pin satu Vcc sebagai sumber tegangan, pin kedua data sebagai input/output, pin ketiga sebagai ground dimana dapat dihubungkan ke mikrokontroler lainnya. (Hurtado, Rodríguez, and Bonilla 2020)



Gambar 2.5 bentuk sensor DHT22.

Sumber : <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-sensor/dht22-digital-temperature-humidity-sensor-module.html>

2.7.4 Lampu

Lampu pertama kali diciptakan oleh Tomas Alfa Edison dengan bentuk yang sederhana dan berjenis lampu pijar. Kemudian seiring dengan perkembangan teknologi lampu semakin berkembang dan banyak macam jenis nya. Terdapat tiga jenis lampu yang banyak digunakan oleh masyarakat dalam kehidupan sehari hari. Yaitu lampu pijar, yang cahaya nya dihasilkan dari pemanasan serabut pijar atau filamen sehingga lampu ini mengeluarkan suhu yang relatif tinggi.

Serabut pijar merupakan kawat logam halus yang mempunyai hambatan terhadap arus yang lewat. Filamen tenaga listrik kemudian diubah menjadi panas dan bercahaya. Kedua, lampu Fluorescent menggunakan prinsip bahan mineral akan di expos terhadap

sinar ultraviolet kemudian bereaksi dengan gas didalam lampu, dan akan menghasilkan cahaya ultraviolet. Cahaya ultraviolet akan bereaksi dengan fosfor, fosfor merupakan campuran merial untuk bagian dalam bola lampu. Ketiga, lampu Led Emitting Diode (LED) adalah semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya monokromik. Terdapat zat kimia yang mengeluarkan cahaya jika elektron melewatinya.(Hurtado et al. 2020)



Gambar 2.6 Ilustrasi Lampu Pijar

Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Lampu_pijar

2.7.5 Relay

Relay merupakan saklar yang beroperasi menggunakan arus listrik kecil yang dapat menghantarkan listrik yang bertegangan kecil dan memiliki komponen elektromekanikal yang terdiri dari electromagnet dan mekanikal (saklar/ switch) untuk menutup atau membuka. Relay diibaratkan sebagai otak dari pengendalian sistem memiliki empat komponen yaitu armature, spring, electromagnet (coil) dan contact (saklar). Prinsip kerja dari relay yaitu ketika electromagnet mendapatkan energy listrik maka akan memberikan gaya dan menarik yang dihasilkan oleh armature dan contact akan tertutup.(Hurtado et al. 2020)



Gambar 2.7 Bentuk Relay

Sumber : <https://www.arduinoindonesia.id/2024/02/mengenai-modul-relay-arduino-cara-kerja-dan-aplikasi-praktis.html>

2.7.6 Breadboard

Breadboard adalah papan yang berfungsi untuk menempatkan dan Menyusun piranti atau komponen-komponen elektronika menjadi rangkaian elektronika tanpa penyolderan. Hubungan antar piranti atau komponen yang satu dengan piranti komponen elektronika yang lain pada breadboard dilakukan melalui kawat atau kabel.(Muhamad Hilmansyah Susanta 2024)



Gambar 2.8 Papan Breadboard

Sumber : <https://ecadio.com/pengenalan-anatomi-breadboard>

2.7.7 Kabel Jumper

Kabel jumper adalah kabel yang digunakan sebagai penghubung antar komponen yang digunakan dalam membuat perangkat prototype. Sesuai kebutuhannya kabel jumper bisa di gunakan dalam bermacam-macam versi, contohnya seperti versi male to female, male to male dan female to female. Karakteristik dari kabel jumper ini memiliki panjang antara 10 sampai 20 cm.(Kusumawati and Inggi 2022)



Gambar 2.9 Kabel Jumper

Sumber : <https://www.arduinoindonesia.id/2022/11/pengertian-jenis-dan-cara-kerja-kabel-jumper-arduino.html>

2.7.8 Dc Fan

Fan adalah mengatur volume panas udara agar ruangan yang tidak mengalami suhu panas dan dapat bersirkulasi udara secara normal. Pada umumnya kipas angin dimanfaatkan untuk pendingin udara, penyegar udara, ventilasi (exhaust fan), atau pengering (umumnya memakai komponen penghasil panas). Terdapat dua jenis kipas angin berdasarkan arah angin yang dihasilkan, yaitu kipas angin centrifugal (angin mengalir searah dengan poros kipas) dan kipas angin axial (angin mengalir secara paralel dengan poros kipas). (Rachmat Aulia 2021)



Gambar 2.10 Dc Fan

2.7.9 Sumber : [https://amicus.com.sg/products/5v-dc-mini-fan-with-pin-contact/Rtc Ds3231](https://amicus.com.sg/products/5v-dc-mini-fan-with-pin-contact/Rtc-Ds3231)

Sensor RTC, atau Real Time Clock, adalah modul elektronik yang digunakan untuk menyimpan dan melacak waktu secara real-time, bahkan saat sistem utama (seperti mikrokontroler) dimatikan atau kehilangan daya. Modul ini dirancang agar dapat terus menjaga informasi waktu seperti detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, hingga tahun dengan tingkat akurasi yang tinggi. Dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32, modul RTC sangat penting. Ketika dibutuhkan kendali Waktu yang presisi dan berkelanjutan, misalnya dalam sistem penjadwalan otomatis, pencatatan data (data logger), alarm digital, jam digital, atau sistem irigasi otomatis yang menyiram tanaman pada waktu-waktu tertentu.



Gambar 2.11 Sensor Rtc DS3231

Sumber : <https://ielectroney.com/en/product/ds3231-rtc-at24c32-iic-module/>

2.7.10 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Pada dasarnya prinsip kerja buzzer hampir sama dengan loud speaker, jadi buzzer juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi elektromagnet, kumparan tadi akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung dari arah arus dan polaritas magnetnya, karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara. Buzzer biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat (alarm). (Nur Alfian and Ramadhan 2022)



Gambar 2.12 Buzzer

Sumber : https://www.jshnbuzzer.com/id/new_detail/What-are-the-three-types-of-buzzers.html

2.7.11 LED

Light Emitting Diode (LED) adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya. Sesuai dengan namanya, LED adalah salah satu jenis diode. Sebagaimana diketahui, diode adalah komponen yang hanya dapat mengalirkan arus

listrik dalam satu arah. Arus listrik hanya mengalir kalau tegangan positif dihubungkan ke kaki yang disebut anode dan tegangan negatif dihubungkan ke kaki yang dinamakan katode. Hal ini berbeda dengan resistor, yang dapat mengalirkan arus listrik walau kedua kakinya dibalik Kadir. Lampu LED (Dioda emisi cahaya) adalah solid state lampu yang merupakan piranti elektronik gabungan antara elektronik dengan optik, sehingga dikategorikan pada keluarga “Optoelectronic”. Ada tiga fungsi umum penggunaan led yaitu sebagai lampu indikator untuk transmisi sinyal cahaya yang dimodulasikan dalam suatu jarak tertentu dan sebagai penggandeng rangkaian elektronik yang terisolir secara total.(Nur Alfian and Ramadhan 2022)

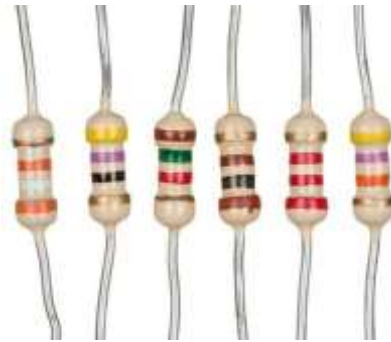


Gambar 2.13 LED

Sumber : <https://www.anakteknik.co.id/krysnayudhamaulana/articles/apasih-led-itu-dan-manfaatnya-bagi-kita?srsltid=AU7gw4XLSv4K-9bGXas3UqhBThYvjIjMDqvMvQJQdsoYhWssveIwN4sx>

2.7.12 Resistor

Resistor adalah komponen Elektronika Pasif yang memiliki nilai resistansi atau hambatan tertentu yang berfungsi untuk membatasi dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian Elektronika. Resistor atau dalam bahasa Indonesia sering disebut dengan Hambatan atau Tahanan dan biasanya disingkat dengan Huruf “R”. Satuan Hambatan atau Resistansi Resistor adalah OHM (Ω). Sebutan “OHM” ini diambil dari nama penemunya yaitu Georg Simon Ohm yang juga merupakan seorang Fisikawan Jerman.(Nur Alfian and Ramadhan 2022)



Gambar 2.14 Resistor

Sumber : <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/how-to-choose-the-right-resistor/>

2.8 Bootstrap

Bootstrap adalah salah satu framework CSS yang paling populer digunakan untuk membangun website responsif. Bootstrap menyediakan berbagai komponen dan fitur yang dapat digunakan untuk memudahkan pembuatan tampilan website responsif, seperti grid system, typography, form, button, dan lain sebagainya. (Dirga ntara and Andrian 2023)



Gambar 2.12 Logo Bootstrap

2.9 Arduino IDE

IDE adalah singkatan dari Integrated Development Environment, atau secara bahasa mudahnya merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Disebut sebagai lingkungan karena melalui software inilah Arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsifungsi yang dibenamkan melalui sintaks pemrograman. Arduino menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai bahasa C.

Bahasa pemrograman Arduino (Sketch) sudah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya. Sebelum dijual ke pasaran, IC mikrokontroler Arduino telah ditanamkan suatu program bernama Bootlader yang

berfungsi sebagai penengah antara compiler Arduino dengan mikrokontroler. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut Wiring yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari software Processing yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino.(Raju n.d.)



Gambar 2.13 Arduino

Sumber : <https://windowsreport.com/arduino-software-drivers-windows-10/>

2.10 Draw Io

Draw.io merupakan sebuah Aplikasi yang digunakan untuk membuat rancangan diagram tanpa diperlukan instalasi aplikasi, cukup dengan sambungan internet. Kelebihan Draw.io diantaranya, Draw.io merupakan aplikasi yang bersifat fleksibel, datanya dapat disimpandimana saja dan dapat menggunakan media penyimpanan sendiri. Pada Aplikasi ini menawarkan banyak package untuk merancang dan membuat diagram, seperti UML, Flowchart, dan 12 Entity Relation. Draw.io juga tidak memiliki batasan pada pengguna dan diagram yang dibuat.(Dharmastuti n.d.)



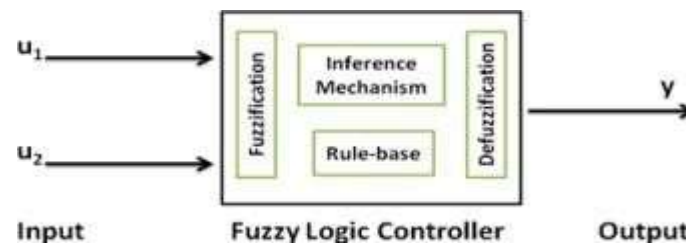
Gambar 2.14 Draw Io

Sumber : <https://logowik.com/drawio-logo-vector-67974.html>

2.11 Fuzzy

Algoritma Logika Fuzzy merupakan suatu metode yang berguna untuk

memecahkan masalah ketidakpastian atau memiliki ambiguitas. Teori ini menyatakan bahwa derajat keanggotaan dari suatu elemen bukan hanya terdiri dari 0 dan 1, melainkan dari rentang 0 sampai 1. Logika fuzzy, yang merupakan logika berbasis konsep kebenaran sebagian, memberikan fleksibilitas dalam mengatasi ketidakpastian data. Berbeda dengan logika klasik yang hanya mengenal nilai kebenaran mutlak 0 atau 1, logika fuzzy memungkinkan adanya derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1, sehingga mampu menangani data yang bersifat samar atau ambigu. Salah satu metode yang sering digunakan dalam sistem inferensi fuzzy adalah metode Mamdani. Metode ini mengandalkan aturan if-then dan penalaran fuzzy untuk mengolah berbagai parameter, seperti permintaan, persediaan, dan stok akhir, guna menghasilkan keputusan yang lebih akurat dan efisien. (Karima and Rahman 2024)



Gambar 2.15 Logika Fuzzy

2.12 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Ringkasan Penelitian Terdahulu

NO	Judul	Pengarang (Tahun)	Kesimpulan
1	Monitoring Suhu dan Kelembaban menggunakan SMS Gateway pada Proses Fermentasi Tempe Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler	Aldho dkk. (2020)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring suhu dan kelembapan fermentasi tempe secara otomatis berbasis IoT. Namun, sistem masih bergantung pada SMS Gateway sebagai media komunikasi, belum menerapkan algoritma Logika Fuzzy untuk menentukan status fermentasi, serta belum mempertimbangkan parameter waktu fermentasi sebagai dasar pengambilan keputusan

2	Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara pada Fermentasi Tempe Menggunakan Modul ESP8266 dengan Platform IoT	Fitri dkk. (2020)	Sistem yang dikembangkan mampu melakukan monitoring dan pengendalian suhu serta kelembapan fermentasi secara real-time menggunakan platform IoT. Meskipun demikian, sistem masih bergantung pada platform pihak ketiga, belum menerapkan algoritma Logika Fuzzy, serta belum mengintegrasikan parameter waktu fermentasi untuk menentukan status fermentasi secara otomatis.
3	Pengembangan Sistem Monitoring Pendataan Aplikasi Berbasis Web Pada Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat	Salma dkk. (2023)	Pengembangan sistem monitoring berbasis web berhasil meningkatkan efektivitas pengelolaan dan penyajian data secara real-time. Akan tetapi, penelitian ini tidak diterapkan pada proses fermentasi tempe maupun sistem IoT berbasis sensor sehingga belum mendukung penentuan status fermentasi secara otomatis.
4	Pengembangan Sistem Kipas Angin Pintar Berbasis IoT untuk Pemantauan Suhu dan Kelembapan secara Real-Time	Yoga dkk. (2025)	Penerapan sistem IoT pada penelitian ini berhasil melakukan pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time. Namun, penelitian hanya berfokus pada pengendalian lingkungan, belum menerapkan algoritma Logika Fuzzy, belum menggunakan parameter waktu, serta tidak ditujukan untuk proses fermentasi tempe.
5	Analisis Kinerja Sensor DHT11 Pada Alat Pendeteksi Suhu Menggunakan Metode Fuzzy Logic	Ikhwani dkk (2024)	Penerapan metode Fuzzy Logic menunjukkan peningkatan akurasi dalam proses klasifikasi suhu. Namun, penelitian hanya berfokus pada pendeteksian suhu menggunakan sensor DHT11, belum mengintegrasikan parameter kelembapan dan waktu fermentasi, serta belum menerapkan sistem IoT berbasis website untuk monitoring dan penentuan status fermentasi.

2.13 ANALISIS GAP

Berdasarkan hasil kajian terhadap berbagai penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi Internet of Things (IoT) pada proses fermentasi

tempe umumnya masih berfokus pada pemantauan suhu dan kelembapan, serta pada beberapa penelitian telah dilengkapi dengan fitur pengendalian otomatis. Meskipun demikian, masih terdapat sejumlah keterbatasan yang menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (research gap), salah satunya adalah belum dimaksimalkannya pemanfaatan parameter waktu fermentasi sebagai indikator utama dalam menentukan tingkat kematangan tempe, padahal faktor waktu memiliki peranan yang sangat penting dalam memengaruhi kualitas hasil fermentasi. Selain itu, sebagian besar sistem yang dikembangkan masih bergantung pada platform pihak ketiga, sehingga mengurangi tingkat fleksibilitas dan kemandirian sistem.

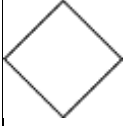
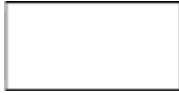
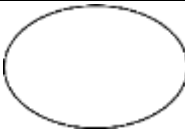
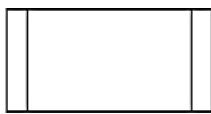
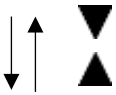
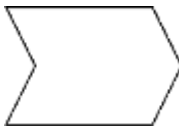
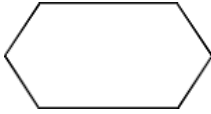
Dari sisi perangkat, pemanfaatan mikrokontroler berbasis Wi-Fi seperti ESP32 serta modul RTC DS3231 sebagai penyedia data waktu yang presisi masih belum banyak diterapkan secara terintegrasi dalam satu sistem monitoring. Di sisi lain, penggunaan metode pengambilan keputusan seperti logika fuzzy dalam menentukan status fermentasi juga masih terbatas dan belum terintegrasi secara optimal dengan sistem IoT. Dari aspek antarmuka, belum semua penelitian menyediakan dashboard berbasis website yang terintegrasi dan mampu menyajikan data secara real-time secara informatif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring fermentasi tempe berbasis IoT yang mengintegrasikan parameter suhu, kelembapan, dan waktu dengan dukungan ESP32 dan RTC DS3231, serta menerapkan logika fuzzy untuk menentukan status fermentasi secara lebih akurat melalui tampilan website yang real-time dan mudah diakses.

2.14 Flowchart

Flowchart merupakan gambaran berbentuk suatu grafik yang disertai langkahlangkah dan urutan suatu prosedur dari suatu program. Flowchart dapat membantu proses analisis, perancangan dan pengkodean untuk memecahkan masalah kedalam bagian-bagian yang lebih kecil untuk pengoperasiannya. Flowchart biasanya mempermudah penyelesaian suatu masalah pada evaluasi lebih lanjut. Pengertian lain

Flowchart dapat dikatakan sebuah diagram dengan simbol-simbol grafis yang menyatakan aliran proses yang menampilkan beberapa langkah-langkah yang disimbolkan atau dapat diartikan sebagai penggambaran secara grafik dari langkah-langkah atau urutanurutan dari suatu prosedur program yang mempunyai fungsi tertentu. Fungsi Flowchart digunakan untuk memberikan gambaran suatu proses produksi agar mudah dipahami dan mudah dilihat berdasarkan urutan langkahnya dari proses yang satu ke proses yang lainnya.(Tri Tajrin 2016)

Tabel 2.3 Simbol Flowchart

Simbol	Keterangan
	Decision (Simbol Keputusan) Simbol yang menunjukkan kondisi tertentu yang akan menghasilkan dua kemungkinan jawaban yaitu ya atau tidak.
	Proses Simbol proses digunakan untuk menggambarkan tahapan atau kegiatan yang terjadi dalam suatu alur program
	Proses Pilihan Simbol yang menunjukan proses alternatif atau pilihan tertentu
	Simbol Titik Terminal (terminal point symbol) Simbol yang digunakan untuk menandai bagian awal maupun akhir dari suatu proses.
	Simbol Input/Output Simbol yang berfungsi untuk menunjukkan proses penerimaan atau pengeluaran data dalam program.
	Simbol Proses Terdefinisi (predefined process symbol) Simbol yang digunakan untuk menggambarkan suatu operasi atau prosedur yang penjelasannya disajikan pada bagian lain dari diagram.
	Simbol garis alir (flow lines symbol) Simbol yang digunakan untuk menunjukkan arah atau aliran proses dalam suatu bagan alir.
	Manual Operation (Operasi Manual) Simbol yang menyatakan proses input atau output tanpa tergantung peralatan.
	Display symbol (Simbol Display) Simbol yang digunakan untuk menunjukkan bahwa informasi atau hasil proses ditampilkan ke layar monitor, display, atau perangkat output lainnya.
	Simbol persiapan (preparation symbol) Simbol yang digunakan untuk menetapkan atau memberikan nilai awal pada suatu variabel atau parameter dalam proses program.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode Penelitian dan Pengembangan atau Research and Development (R&D), yaitu suatu metode penelitian yang dilakukan secara sistematis untuk menciptakan, mengembangkan, serta menyempurnakan suatu produk, sistem, maupun layanan guna menyelesaikan permasalahan tertentu. Metode R&D pada penelitian ini diterapkan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji sistem monitoring waktu serta status proses fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT). Sistem yang dirancang terdiri dari perangkat keras berupa mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, dan modul RTC DS3231, sedangkan perangkat lunaknya berupa website monitoring berbasis web. Selain itu, penelitian ini juga menerapkan algoritma Logika Fuzzy sebagai metode Pengambilan keputusan dalam menentukan status fermentasi berdasarkan parameter suhu, kelembapan, dan lama waktu fermentasi.

Penerapan metode R&D bertujuan untuk menghasilkan sistem yang tidak hanya mampu bekerja secara teknis, tetapi juga dapat menjadi solusi terhadap proses fermentasi tempe yang masih dilakukan secara manual. Dengan integrasi teknologi IoT dan algoritma fuzzy, sistem diharapkan mampu melakukan pemantauan secara real-time serta memberikan hasil penentuan status fermentasi yang lebih akurat, efektif, dan efisien. Metode ini juga digunakan untuk menguji tingkat kelayakan dan efektivitas sistem agar dapat berfungsi secara optimal sesuai kebutuhan pengguna. Tahapan dalam metode Research and Development (R&D) pada penelitian ini meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, perancangan sistem, pembuatan produk, pengujian sistem, hingga evaluasi dan perbaikan.

Pada tahap perancangan sistem dilakukan perancangan perangkat keras, perangkat lunak, serta penyusunan aturan Logika Fuzzy yang digunakan dalam proses penentuan status fermentasi. Melalui tahapan tersebut diharapkan sistem yang dikembangkan dapat berjalan dengan baik, mampu melakukan monitoring secara real-time, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian Perancangan dan Implementasi Sistem IoT untuk Monitoring Waktu dan Status Proses Fermentasi Tempe Berbasis Website ini meliputi beberapa tahapan pelaksanaan yang akan ditunjukkan melalui diagram metode/alur penelitian pada bagian berikutnya



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berdasarkan diagram alir di atas, tahapan metode penelitian pada Perancangan dan Implementasi Sistem IoT untuk Monitoring Waktu dan Status Proses Fermentasi Tempe Berbasis Website dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk menganalisis kendala yang terjadi pada proses fermentasi tempe secara tradisional. Umumnya, proses fermentasi masih dilakukan secara manual dan hanya mengandalkan pengalaman produsen dalam menentukan tingkat kematangan tempe. Selain itu, parameter seperti suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi belum dapat dipantau secara langsung dan real-time sehingga kualitas hasil fermentasi sering kali tidak konsisten. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu sistem monitoring berbasis IoT yang mampu membantu proses pemantauan fermentasi secara lebih efektif dan akurat.

2. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan berbagai sumber referensi yang berkaitan dengan penelitian, seperti buku, jurnal, artikel ilmiah, dan penelitian terdahulu. Materi yang dipelajari meliputi konsep fermentasi tempe, Internet of Things (IoT), penggunaan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, modul RTC DS3231, website monitoring, serta penerapan algoritma Logika Fuzzy. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh landasan teori yang dapat mendukung proses perancangan dan pengembangan sistem.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang berkaitan dengan proses fermentasi tempe. Data yang dikumpulkan meliputi suhu ruangan fermentasi, tingkat kelembapan, dan lama waktu fermentasi. Selain itu, dilakukan juga pengamatan terhadap kondisi tempe pada setiap tahapan fermentasi, mulai dari fase awal, fase

optimal, hingga fase fermentasi lanjut. Data tersebut nantinya digunakan sebagai dasar dalam pembentukan aturan pada algoritma fuzzy.

4. Perancangan Sistem IoT

Tahap perancangan sistem dilakukan dengan merancang perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian. Perangkat keras terdiri dari ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor DHT22 sebagai pembaca suhu dan kelembapan, RTC DS3231 sebagai pencatat waktu fermentasi, LCD 16x2 sebagai media tampilan, serta komponen pendukung lainnya seperti relay, kipas, dan lampu. Selain itu, dilakukan juga perancangan diagram blok, alur kerja sistem, database, dan website monitoring untuk menampilkan data hasil monitoring secara real-time.

5. Perancangan Algoritma Fuzzy

Tahap ini bertujuan untuk merancang algoritma Logika Fuzzy yang digunakan dalam menentukan status fermentasi tempe berdasarkan parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Proses yang dilakukan meliputi penentuan variabel input dan output, pembentukan himpunan fuzzy, penyusunan fungsi keanggotaan, serta pembuatan aturan IF-THEN. Setelah itu dilakukan proses inferensi fuzzy dan defuzzifikasi sehingga sistem dapat menghasilkan keputusan akhir mengenai status fermentasi tempe.

6. Pembuatan Sistem

Tahap pembuatan sistem dilakukan dengan merakit seluruh perangkat keras sesuai rancangan yang telah dibuat sebelumnya. Selain itu, dilakukan proses pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE untuk membaca data sensor, menjalankan algoritma fuzzy, serta mengirimkan data hasil monitoring ke website melalui jaringan internet. Pada tahap ini juga dilakukan integrasi antara perangkat keras, algoritma fuzzy, database, dan website agar seluruh sistem dapat bekerja secara terhubung dan sinkron.

7. Implementasi Website Monitoring

Tahap implementasi website monitoring dilakukan dengan membangun dashboard berbasis web yang berfungsi untuk menampilkan data monitoring fermentasi secara real-time. Website menampilkan informasi berupa suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi hasil perhitungan fuzzy. Seluruh data yang dikirimkan oleh ESP32 akan disimpan ke dalam database sehingga pengguna dapat memantau kondisi fermentasi kapan saja melalui perangkat yang terhubung ke internet.

8. Pengujian Sistem dan Algoritma Fuzzy

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dan tingkat keberhasilan sistem yang telah dibuat. Pengujian meliputi pengujian sensor DHT22, RTC DS3231, komunikasi data antara ESP32 dan website, serta pengujian algoritma fuzzy dalam menentukan status fermentasi tempe. Selain itu, dilakukan juga perbandingan antara hasil perhitungan fuzzy dengan kondisi fermentasi sebenarnya guna mengetahui tingkat akurasi sistem.

9. Evaluasi dan Perbaikan Sistem

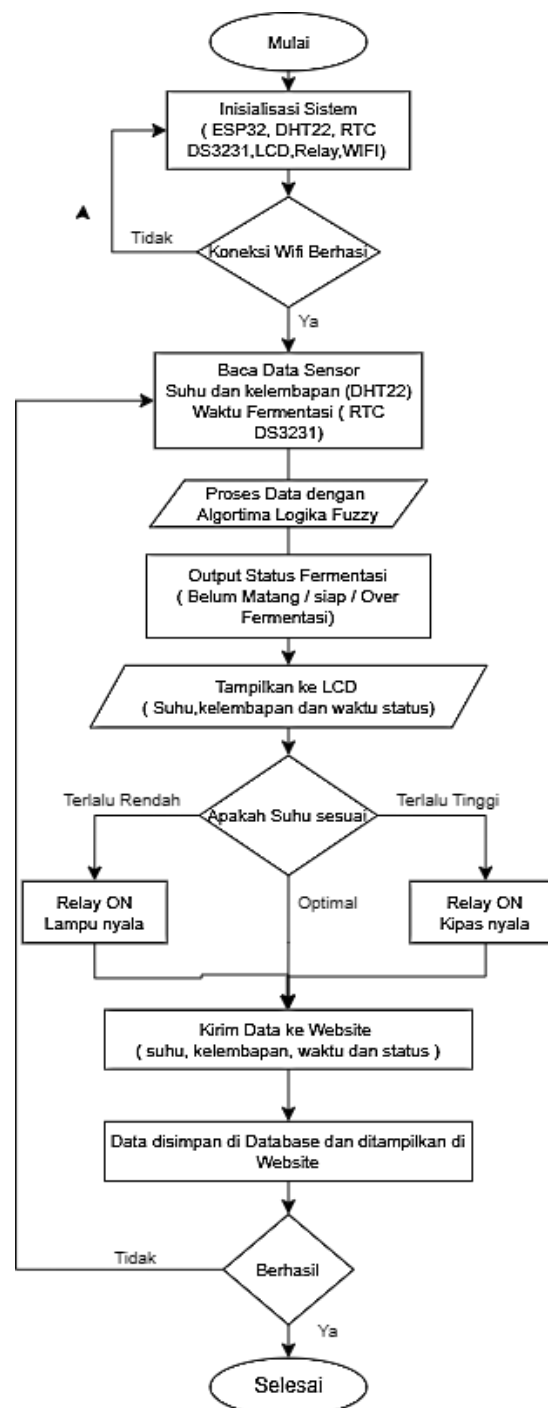
Setelah pengujian dilakukan, tahap berikutnya adalah evaluasi sistem untuk mengetahui apakah sistem sudah bekerja sesuai kebutuhan. Jika masih terdapat kesalahan atau kekurangan, baik pada perangkat keras, perangkat lunak, aturan fuzzy, maupun website monitoring, maka dilakukan perbaikan dan pengembangan ulang agar sistem dapat berjalan dengan lebih baik dan stabil.

10. Kesimpulan

Tahap terakhir merupakan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Kesimpulan berisi hasil implementasi sistem IoT dan algoritma fuzzy dalam monitoring proses fermentasi tempe. Selain itu, diberikan pula saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar sistem dapat dikembangkan menjadi lebih optimal, akurat, dan memiliki fitur yang lebih lengkap.

3.3 Rancangan Kerja Alat

Sistem yang dirancang pada penelitian ini bertujuan untuk memantau proses fermentasi tempe secara real-time dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Sensor DHT22 digunakan untuk membaca data suhu dan kelembapan, sedangkan modul RTC DS3231 berfungsi untuk menghitung waktu fermentasi. Seluruh data tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan metode Logika Fuzzy untuk menentukan status fermentasi tempe, seperti belum matang, siap, atau over fermentasi. Hasil monitoring kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirim ke website melalui koneksi internet agar dapat dipantau secara jarak jauh secara real-time. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan relay yang akan menyalakan lampu ketika suhu terlalu rendah dan mengaktifkan kipas saat suhu terlalu tinggi, sehingga kondisi fermentasi dapat tetap terjaga pada suhu yang optimal.



Gambar 3.2 Rancangan Kerja Alat

Berdasarkan flowchart rancangan kerja alat di atas, proses sistem diawali dengan inisialisasi seluruh perangkat yang digunakan, meliputi ESP32, sensor DHT22, RTC DS3231, LCD, relay, serta koneksi WiFi. Setelah proses inisialisasi selesai, sistem akan melakukan pengecekan koneksi WiFi. Apabila koneksi belum berhasil, maka sistem akan terus mencoba menghubungkan kembali hingga koneksi berhasil dilakukan.

Setelah terhubung ke jaringan, ESP32 akan membaca data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 serta data waktu fermentasi dari modul RTC DS3231. Data yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan metode Logika Fuzzy untuk menentukan kondisi atau status fermentasi tempe, seperti belum matang, siap, atau over

fermentasi. Hasil pengolahan tersebut selanjutnya ditampilkan pada LCD berupa informasi suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi. Setelah itu, sistem

akan melakukan pengecekan terhadap kondisi suhu ruangan fermentasi. Jika suhu terlalu rendah, relay akan mengaktifkan lampu sebagai pemanas, sedangkan apabila suhu terlalu tinggi maka relay akan menyalakan kipas untuk membantu menurunkan suhu agar tetap stabil. Namun, jika suhu berada pada kondisi optimal, maka lampu dan kipas tidak akan diaktifkan. Selanjutnya, seluruh data monitoring berupa suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi akan dikirimkan ke website melalui jaringan internet.

Data tersebut kemudian disimpan ke dalam database dan ditampilkan secara real-time pada dashboard website sehingga pengguna dapat memantau proses fermentasi dari jarak jauh dengan lebih mudah. Jika proses pengiriman data berhasil, maka sistem dinyatakan selesai, sedangkan jika terjadi kegagalan, sistem akan kembali mengulangi proses monitoring secara otomatis.

3.3.1 Fungsi Komponen Sistem Iot

Sistem monitoring fermentasi tempe terdiri dari beberapa komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terintegrasi dalam konsep Internet of Things (IoT). Setiap komponen memiliki fungsi yang berbeda namun saling mendukung dalam proses pengambilan data, pengolahan informasi, hingga penyajian hasil monitoring secara real-time melalui website.

A. ESP32

ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali pada sistem monitoring fermentasi tempe berbasis IoT. Mikrokontroler ini menerima data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 serta data waktu dari modul RTC DS3231. Selanjutnya, data diproses menggunakan algoritma Logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan status fermentasi. Hasil pengolahan kemudian dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke database agar dapat ditampilkan pada website secara real-time.

B. Sensor DHT22

Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan di dalam ruang fermentasi. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke ESP32 sebagai parameter utama dalam proses pengambilan keputusan menggunakan algoritma fuzzy. Penggunaan sensor ini dipilih karena mampu memberikan hasil pengukuran yang cukup akurat dan stabil untuk proses monitoring.

C. RTC DS3231

RTC DS3231 berfungsi untuk mencatat dan menghitung lama waktu fermentasi. Informasi waktu yang diperoleh akan dikirimkan ke ESP32 dan digunakan sebagai salah satu variabel masukan dalam proses perhitungan algoritma fuzzy. Dengan demikian, sistem dapat menentukan status fermentasi berdasarkan durasi yang telah berlangsung.

D. Relay

Relay berfungsi sebagai sakelar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32. Komponen ini digunakan untuk mengaktifkan atau mematikan lampu pemanas dan kipas secara otomatis sesuai dengan kondisi yang ditentukan oleh sistem. Penggunaan relay membantu proses pengendalian perangkat menjadi lebih efisien.

E. Lampu Pemanas

Lampu pemanas berfungsi untuk menjaga suhu ruang fermentasi agar tetap berada pada kondisi yang sesuai. Lampu akan diaktifkan ketika suhu berada di bawah batas yang telah ditentukan sehingga proses fermentasi dapat berlangsung dengan baik.

F. Kipas (DC Fan)

Kipas digunakan untuk membantu sirkulasi udara dan menurunkan suhu ruang fermentasi apabila melebihi batas yang ditentukan. Pengoperasiannya dikendalikan oleh ESP32 melalui relay sehingga suhu ruang fermentasi tetap stabil.

G. Database

Database berfungsi sebagai media penyimpanan seluruh data hasil monitoring yang dikirimkan oleh ESP32. Data yang disimpan meliputi suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi. Informasi tersebut kemudian digunakan sebagai sumber data pada website monitoring.

H. LED

LED indikator digunakan sebagai indikator visual untuk menunjukkan status proses fermentasi tempe. LED kuning digunakan untuk menunjukkan status Belum Matang, LED hijau menunjukkan status Siap, dan LED merah menunjukkan status Over Fermentasi.

I. Buzzer

Buzzer digunakan sebagai indikator suara untuk memberikan pemberitahuan kepada pengguna ketika terjadi perubahan status fermentasi, khususnya ketika proses mencapai status Siap atau Over Fermentasi. Dengan adanya LED dan buzzer, pengguna dapat mengetahui kondisi fermentasi secara langsung pada perangkat tanpa harus selalu melihat website.

J. Website

Website monitoring digunakan sebagai media untuk menampilkan data hasil monitoring secara real-time. Pengguna dapat melihat informasi suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi melalui website. Selain itu, website juga menyimpan riwayat data sebagai bahan evaluasi proses fermentasi.

3.3.2 Implementasi Sistem Iot

Implementasi sistem merupakan tahap penerapan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang agar dapat bekerja secara terintegrasi dalam memantau proses fermentasi tempe. Sistem ini memanfaatkan konsep Internet of Things (IoT) sehingga proses pengambilan data, pengolahan informasi, dan penyajian hasil monitoring dapat dilakukan secara otomatis serta ditampilkan melalui website secara real-time. Tahapan implementasi sistem dijelaskan sebagai berikut:

A. Inisialisasi Sistem

Tahap awal implementasi dilakukan dengan mengaktifkan seluruh komponen sistem, meliputi ESP32, sensor DHT22, modul RTC DS3231, relay, dan koneksi Wi-Fi. Setelah seluruh perangkat terhubung dan berfungsi dengan baik, sistem siap menjalankan proses monitoring.

B. Akuisisi Data

Sensor DHT22 membaca nilai suhu dan kelembapan, sedangkan modul RTC DS3231 mencatat waktu fermentasi. Seluruh data hasil pembacaan dikirimkan ke ESP32 sebagai data masukan untuk diproses lebih lanjut.

C. Pengolahan Data

ESP32 mengolah data suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi menggunakan algoritma Logika Fuzzy Mamdani. Melalui proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi, sistem menghasilkan keputusan berupa status fermentasi, yaitu Belum Matang, Siap Panen, atau Over Fermentasi.

D. Pengendalian Sistem

Berdasarkan hasil pengolahan algoritma fuzzy, ESP32 mengendalikan relay untuk mengaktifkan lampu pemanas atau kipas sesuai kondisi suhu di dalam ruang fermentasi. Pengendalian ini bertujuan menjaga lingkungan fermentasi tetap stabil.

E. Pengiriman dan Penyimpanan Data

Data hasil monitoring kemudian dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan Wi-Fi ke database. Informasi yang tersimpan meliputi suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi sehingga dapat digunakan sebagai data monitoring dan riwayat proses fermentasi.

F. Monitoring Melalui Website

Website menampilkan data yang tersimpan pada database secara real-time sehingga pengguna dapat memantau kondisi fermentasi dari mana saja. Informasi yang disajikan meliputi suhu, kelembapan, waktu fermentasi, serta status fermentasi yang dihasilkan oleh sistem. Selain menampilkan hasil monitoring melalui LCD dan website, sistem juga dilengkapi dengan notifikasi offline menggunakan LED indikator dan buzzer. LED kuning digunakan untuk menunjukkan status Belum Matang, LED hijau digunakan untuk menunjukkan status Siap Panen, dan LED merah digunakan untuk menunjukkan status Over Fermentasi. Buzzer digunakan sebagai indikator suara ketika status fermentasi mengalami perubahan, terutama ketika sistem mencapai status Siap Panen atau Over Fermentasi. Dengan adanya indikator tersebut, pengguna dapat mengetahui kondisi fermentasi secara langsung melalui perangkat tanpa harus selalu melihat website.

3.4 Perancangan Algoritma Fuzzy

Pada penelitian ini, algoritma Logika Fuzzy digunakan untuk menentukan status fermentasi tempe berdasarkan tiga parameter, yaitu suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Metode ini dipilih karena mampu menangani ketidakpastian data serta menghasilkan keputusan yang lebih fleksibel dibandingkan dengan metode konvensional

yang menggunakan batas nilai tegas. Data suhu dan kelembapan diperoleh dari sensor DHT22, sedangkan data waktu fermentasi diperoleh dari modul RTC DS3231. Seluruh data tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk menentukan kondisi fermentasi secara otomatis. Hasil pengolahan selanjutnya ditampilkan pada website monitoring sehingga pengguna dapat memantau proses fermentasi secara real-time. Metode Mamdani dipilih karena memiliki konsep yang sederhana, mudah diterapkan, serta mampu mengolah beberapa variabel input secara bersamaan. Proses Logika Fuzzy pada penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan (rule base), inferensi, agregasi, dan penentuan hasil akhir. Pada tahap fuzzifikasi, data input diubah menjadi nilai linguistik berdasarkan derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan fuzzy.

Selanjutnya, nilai tersebut diproses menggunakan aturan IF-THEN yang telah dirancang berdasarkan kondisi fermentasi tempe. Pada tahap inferensi, setiap aturan fuzzy dievaluasi menggunakan operator minimum (MIN) untuk memperoleh nilai keluaran dari masing-masing rule. Hasil dari aturan-aturan yang memiliki keluaran yang sama kemudian digabungkan menggunakan operator maksimum (MAX) melalui proses agregasi. Nilai derajat keanggotaan hasil agregasi selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan status fermentasi berdasarkan nilai derajat keanggotaan yang paling kuat.

Output sistem berupa tiga kategori status fermentasi, yaitu Belum Matang, Siap Panen, dan Over Fermentasi. Informasi hasil pengolahan tersebut kemudian disimpan ke dalam database dan ditampilkan pada website monitoring. Dengan penerapan Logika Fuzzy Mamdani, sistem tidak hanya dapat menampilkan data suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi secara real-time, tetapi juga dapat memberikan informasi mengenai status fermentasi secara otomatis sehingga membantu pengguna dalam menentukan kondisi dan waktu panen tempe.

3.4.1 Parameter Penelitian

Penelitian ini digunakan tiga parameter utama sebagai masukan (input) dalam algoritma Logika Fuzzy Mamdani, yaitu suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Ketiga parameter tersebut dipilih karena memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan proses fermentasi tempe. Data yang diperoleh dari masing-masing parameter akan diproses menggunakan algoritma Logika Fuzzy Mamdani untuk menghasilkan keluaran berupa status fermentasi.

1. Parameter suhu digunakan karena merupakan salah satu faktor yang memengaruhi pertumbuhan jamur *Rhizopus* sp. sebagai mikroorganisme utama dalam proses fermentasi tempe. Kondisi suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat pertumbuhan jamur, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat proses fermentasi dan menurunkan kualitas tempe. Oleh karena itu, suhu dijadikan sebagai salah satu parameter utama dalam menentukan status fermentasi.
2. Parameter kelembapan digunakan karena kondisi kelembapan lingkungan turut memengaruhi pertumbuhan jamur selama proses fermentasi berlangsung. Tingkat kelembapan yang sesuai akan mendukung pertumbuhan jamur secara optimal, sedangkan kelembapan yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat mengganggu jalannya fermentasi. Dengan demikian, kelembapan menjadi salah satu parameter penting yang dipantau oleh sistem.
3. Parameter waktu fermentasi digunakan untuk mengetahui lamanya proses fermentasi berlangsung. Meskipun suhu dan kelembapan berada pada kondisi yang sesuai, tempe belum dapat dinyatakan matang apabila waktu fermentasi belum mencapai durasi yang dibutuhkan. Oleh sebab itu, waktu fermentasi dijadikan sebagai salah satu parameter dalam proses

pengambilan keputusan menggunakan algoritma Logika Fuzzy Mamdani.

Berdasarkan ketiga parameter masukan tersebut, sistem akan menghasilkan keluaran berupa status fermentasi, yaitu Belum Matang, Siap, dan Fermentasi fermentasi belum memenuhi kondisi yang diharapkan. Status Siap menunjukkan bahwa suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi telah berada pada kondisi optimal sehingga tempe siap digunakan atau dipasarkan. Sementara itu, status Fermentasi Lanjut (Over Fermentasi) menunjukkan bahwa proses fermentasi telah melewati kondisi optimal sehingga kualitas tempe mulai mengalami penurunan.

Tabel 3.1 Parameter Penelitian

Parameter	Jenis	Fungsi
Suhu (°C)	Input	Mengukur suhu ruang fermentasi sebagai indikator pertumbuhan jamur.
Kelembapan (%)	Input	Mengukur tingkat kelembapan yang memengaruhi proses fermentasi.
Waktu (jam)	Input	Menentukan lama proses fermentasi.
Status Fermentasi	Output	Menunjukkan hasil proses fermentasi berdasarkan Logika Fuzzy Mamdani.

3.4.2 Variabel fuzzy

Pada penelitian ini, algoritma fuzzy menggunakan tiga variabel input dan satu variabel output. Variabel input terdiri dari suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi, sedangkan variabel output berupa status fermentasi tempe. Variabel-variabel tersebut dipilih karena merupakan faktor utama yang mempengaruhi keberhasilan proses fermentasi tempe.

Tabel 3.2 Variabel Input dan Output

Variabel	Jenis	kategori
Suhu	Input	Rendah, Normal, Tinggi
Kelembapan	Input	Kering, lembab, basah
Waktu Fermentasi	Input	Awal, optimal, lanjut
Status Fermentasi	Output	Belum matang, siap panen, over fermentasi

3.4.3 Fungsi Keanggotaan

Derajat keanggotaan suatu nilai dalam logika fuzzy ditentukan melalui fungsi keanggotaan. Penelitian ini menerapkan fungsi keanggotaan segitiga (triangular membership function) karena mudah dirancang, efisien dalam proses komputasi, serta sesuai untuk diterapkan pada perangkat mikrokontroler. Variabel input yang digunakan dibagi ke dalam beberapa himpunan linguistik yang merepresentasikan berbagai kondisi selama proses fermentasi tempe berlangsung.

A. Variabel Suhu

Variabel suhu dikelompokkan menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Rendah, Normal, dan Tinggi. Pengelompokan ini dilakukan untuk merepresentasikan berbagai kondisi suhu yang dapat terjadi selama proses fermentasi tempe. Data suhu yang diperoleh dari sensor DHT22 kemudian akan diproses dan dipetakan ke dalam masing-masing himpunan berdasarkan rentang nilai yang telah ditetapkan.

Tabel 3.3 Himpunan Fuzzy Suhu

Kategori	Rentang
Rendah	20°C – 28°C
Normal	28°C – 32°C
Tinggi	32°C – 40°C

B. Variabel Kelembapan

Variabel kelembapan dikelompokkan menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Kering, Lembap, dan Basah. Pengelompokan ini bertujuan untuk merepresentasikan kondisi lingkungan selama proses fermentasi yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan jamur tempe. Nilai kelembapan yang diperoleh dari sensor kemudian dipetakan ke dalam masing-masing kategori berdasarkan rentang nilai yang telah ditentukan.

Tabel 3.4 Himpunan Fuzzy Kelembapan

Kategori	Percentase
Kering	50% – 70%
Lembab	70% – 90%
Basah	90% – 100%

C. Variabel Waktu Fermentasi

Variabel waktu fermentasi digunakan untuk mengidentifikasi tahapan proses fermentasi yang sedang berlangsung. Lamanya waktu fermentasi berpengaruh terhadap perubahan kondisi tempe, mulai dari tahap awal fermentasi hingga mencapai tingkat kematangan yang diharapkan. Oleh karena itu, waktu fermentasi dijadikan salah satu parameter penting dalam menentukan status fermentasi tempe.

Tabel 3.5 Himpunan Fuzzy Waktu Fermentasi

Kategori	Waktu Fermentasi
Awal	0 – 24 Jam
Optimal	24 – 48 Jam
Lanjut	> 48 Jam

3.4.4 Rule Base Fuzzy

Basis aturan (rule base) adalah kumpulan aturan IF–THEN yang digunakan untuk menentukan keluaran pada sistem fuzzy berdasarkan nilai masukan yang diterima. Pada penelitian ini, aturan disusun dengan mempertimbangkan hubungan antara suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi dalam menentukan status fermentasi tempe. Aturan yang digunakan difokuskan pada kondisi-kondisi utama yang sering terjadi selama proses fermentasi agar sistem dapat memberikan keputusan secara otomatis dan tepat.

Tabel 3.6 Rule Base Fuzzy

Rule	Suhu	Kelembapan	Waktu	Status
R1	Rendah	Kering	Awal	Belum Matang
R2	Rendah	Lembab	Awal	Belum Matang
R3	Rendah	Basah	Optimal	Siap Panen
R4	Normal	Kering	Awal	Belum Matang
R5	Normal	lembab	Optimal	Siap Panen
R6	Normal	Basah	Optimal	Siap Panen
R7	Tinggi	Kering	Optimal	Siap Panen
R8	Tinggi	Lembab	Lanjut	Over Fermentasi
R9	Tinggi	basah	lanjut	Over Fermentasi

Rule base fuzzy digunakan untuk menghubungkan kondisi dari setiap parameter

input dengan status proses fermentasi. Nilai suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi yang diperoleh dari sensor terlebih dahulu diproses melalui fungsi keanggotaan untuk menentukan derajat keanggotaan masing-masing kategori. Derajat keanggotaan tersebut kemudian digunakan sebagai nilai masukan dalam proses evaluasi rule R1 sampai R9. Hasil evaluasi rule selanjutnya digunakan untuk menentukan status fermentasi.

3.5 Lokasi dan Jadwal Penelitian

3.5.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan rumah peneliti yang beralamat di Marelan Gg. Seroja. Lokasi tersebut dipilih karena dianggap cukup mendukung untuk proses perancangan, perakitan, dan pengujian prototipe sistem monitoring fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT). Selain mudah dijangkau, lokasi ini juga memungkinkan peneliti untuk melakukan pengamatan dan pengujian sistem secara lebih fleksibel dan berkelanjutan selama proses penelitian berlangsung. Walaupun penelitian tidak dilakukan langsung pada industri tempe berskala besar, proses pengujian tetap dapat dilakukan melalui simulasi fermentasi tempe yang dibuat menyerupai kondisi fermentasi sebenarnya.

Melalui pengujian yang dilakukan di lingkungan rumah, sistem dapat dianalisis dan dievaluasi secara maksimal, khususnya pada proses pembacaan data suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22, penghitungan waktu fermentasi menggunakan modul RTC DS3231, serta kestabilan koneksi internet pada mikrokontroler ESP32. Selain itu, penelitian ini juga menguji kemampuan sistem dalam menampilkan data monitoring secara real-time pada website dan LCD. Pengujian dilakukan terhadap proses pengiriman data ke database, penentuan status fermentasi menggunakan metode Logika Fuzzy, serta aktivasi relay untuk mengontrol lampu dan kipas sesuai kondisi suhu fermentasi. Dengan pendekatan tersebut, sistem yang dikembangkan dapat divalidasi fungsi dan performanya secara terukur sebelum nantinya diterapkan pada lingkungan produksi tempe yang sesungguhnya.

3.6 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian Perancangan dan Implementasi Sistem IoT untuk Monitoring Waktu dan Status Proses Fermentasi Tempe Berbasis Website adalah sebagai berikut:

3.6.1 Perangkat Keras (Hardware)

Tabel 3.7 Perangkat Keras

No	Nama Alat	Fungsi
1	ESP32	sebagai mikrokontroler utama untuk mengolah data sensor dan mengirim data ke website melalui jaringan internet
2	Senso DHT22	Digunakan untuk membaca dan memonitor suhu serta kelembapan pada proses fermentasi tempe
3	RTC DS3231	Untuk menghitung dan mencatat waktu fermentasi secara real-time dengan akurasi tinggi
4	LCD 16x2	menampilkan informasi suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi secara langsung
5	Relay	sebagai penghubung dan pengontrol otomatis lampu serta kipas berdasarkan kondisi suhu
6	Lampu	sebagai sumber panas untuk menjaga suhu fermentasi tetap stabil saat suhu rendah

7	Dc Fan/Kipas	Berfungsi untuk membantu menurunkan suhu ketika kondisi fermentasi terlalu panas
8	Breadboard	Digunakan sebagai media perakitan sementara rangkaian elektronik tanpa penyolderan
9	Kabel Jumper	Berfungsi untuk menghubungkan antar komponen elektronik pada rangkaian sistem
10	Adaptor/Power Supply	Digunakan sebagai sumber tegangan atau catu daya untuk seluruh komponen sistem
11	LED 5mm (merah,kuning,hijau)	Indikator status : Belum Matang, Siap, Over Fermentasi
12	Buzzer	Berfungsi untuk memberikan Notifikasi Suara
13	Resistor 220–330 Ω	Sebagai pembatas arus LED

3.6.2 Perangkat Lunak (Software)

Tabel 3.8 Perangkat Lunak

No	Nama Software	Fungsi
1	Arduino IDE	untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32 agar sistem dapat membaca sensor dan menjalankan proses monitoring fermentasi
2	Visual Studio Code	sebagai text editor untuk membuat, mengembangkan, dan mengatur source code website monitoring fermentasi tempe
3	Bootstrap	Untuk Membantu Pembuatan Tampilan Website Agar Lebih Responsif, Rapi, Dan Dapat Diakses Melalui Berbagai Perangkat
4	Draw.io	Digunakan untuk membuat flowchart, diagram blok sistem, diagram alur kerja, serta rancangan sistem penelitian
5	XAMPP	Berfungsi sebagai server lokal yang menyediakan layanan Apache dan MySQL untuk menjalankan

		website dan database secara offline selama proses pengembangan
6	MySQL	Digunakan sebagai media penyimpanan data monitoring seperti suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi secara real-time
7	Wokwi	Digunakan untuk mensimulasikan rangkaian dan program ESP32 secara virtual sebelum diterapkan pada perangkat keras asli.

3.7 Perancangan Prototipe



Gambar 3.3 Perancangan Prototipe

Prototipe pada penelitian ini merupakan sebuah rancangan sistem monitoring fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT) yang dibuat dalam bentuk box fermentasi untuk membantu memantau kondisi proses fermentasi secara real-time. Prototipe ini menggunakan sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan di dalam box, serta modul RTC DS3231 untuk menghitung waktu fermentasi secara akurat. Seluruh data kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengendali sistem dan dikirim ke website melalui jaringan WiFi agar dapat dipantau dari jarak jauh. Selain itu, prototipe juga dilengkapi dengan lampu pijar sebagai pemanas dan kipas DC sebagai pendingin yang dikontrol menggunakan relay untuk menjaga suhu fermentasi tetap stabil dan optimal.

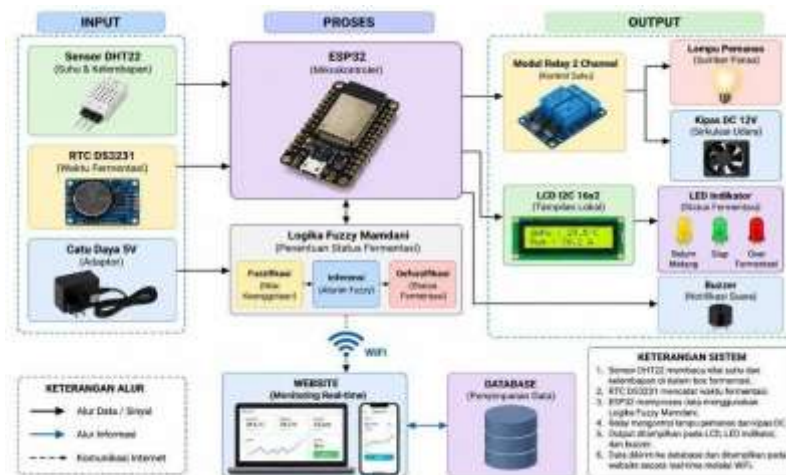
Prototipe juga dilengkapi dengan tiga LED indikator dan buzzer sebagai sistem notifikasi offline. LED kuning digunakan untuk menunjukkan status Belum Matang, LED hijau menunjukkan status Siap Panen, dan LED merah menunjukkan status Over Fermentasi. Buzzer digunakan untuk memberikan pemberitahuan suara ketika status fermentasi mengalami perubahan, terutama ketika mencapai status Siap Panen atau Over Fermentasi.

Data hasil monitoring seperti suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status fermentasi akan ditampilkan pada website secara real-time sehingga pengguna dapat memantau proses fermentasi tempe dengan lebih mudah, efektif, dan akurat. Dengan adanya LED indikator dan buzzer, pengguna juga dapat mengetahui kondisi fermentasi secara langsung melalui perangkat tanpa harus selalu mengakses website.

3.8 Diagram Blok

Diagram blok tersebut menunjukkan alur kerja sistem monitoring fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali utama. Sistem bekerja dengan membaca data suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22, serta data waktu fermentasi dari modul RTC DS3231. Data yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan metode Logika Fuzzy untuk menentukan kondisi atau status fermentasi tempe, seperti belum matang, siap, atau over fermentasi.

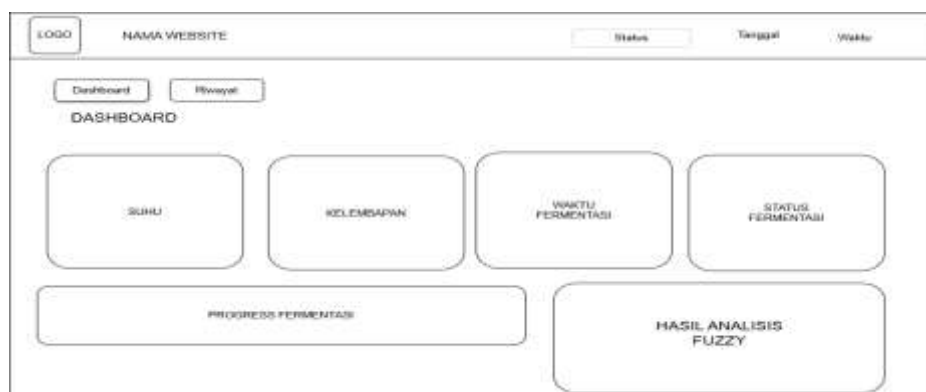
Hasil monitoring selanjutnya akan ditampilkan pada LCD dan dikirim melalui koneksi WiFi ke website agar dapat dipantau secara real-time. Selain itu, sistem juga memanfaatkan relay untuk mengontrol lampu pemanas dan kipas DC secara otomatis berdasarkan kondisi suhu di dalam box fermentasi, sehingga suhu fermentasi tetap terjaga dalam kondisi optimal selama proses berlangsung.



Gambar 3.4 Diagram Blok

Diagram blok pada Gambar di atas menggambarkan proses kerja sistem monitoring fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT). Sensor DHT22 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan, sedangkan RTC DS3231 berfungsi mencatat waktu fermentasi secara real-time. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 menggunakan metode Logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan status fermentasi tempe. Berdasarkan kondisi suhu, ESP32 mengendalikan relay untuk mengaktifkan lampu pemanas dan kipas DC. Hasil monitoring ditampilkan melalui LCD, LED indikator, dan buzzer sebagai notifikasi offline sesuai status fermentasi. Selain itu, data monitoring dikirim melalui koneksi WiFi ke website dan database sehingga proses fermentasi dapat dipantau secara real-time.

3.9 Rancangan Website



Gambar 3.5 Rancangan Website

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi Sistem

Penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe sistem monitoring proses fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan website. Sistem yang dikembangkan digunakan untuk melakukan pemantauan terhadap beberapa parameter utama dalam proses fermentasi, yaitu suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Ketiga parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengetahui kondisi proses fermentasi tempe. Pada sistem yang telah diimplementasikan, ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler utama yang bertugas menerima data dari sensor DHT22 dan RTC DS3231. Sensor DHT22 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan, sedangkan RTC DS3231 digunakan untuk memperoleh waktu dan menghitung lama proses fermentasi.

Data yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 menggunakan Logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan status fermentasi. Selain perangkat keras utama tersebut, sistem juga dilengkapi dengan LCD I2C sebagai tampilan lokal, modul relay untuk mengendalikan lampu pemanas dan kipas DC, serta LED indikator dan buzzer sebagai media notifikasi offline. LED indikator digunakan untuk memberikan informasi visual berdasarkan status fermentasi, sedangkan buzzer memberikan pemberitahuan suara ketika status fermentasi mengalami perubahan. Selain perangkat keras, sistem juga dilengkapi dengan perangkat lunak berupa program ESP32, API, database MySQL, dan website monitoring. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju API, kemudian disimpan pada database MySQL. Data yang telah tersimpan selanjutnya digunakan oleh website untuk menampilkan informasi monitoring kepada pengguna.

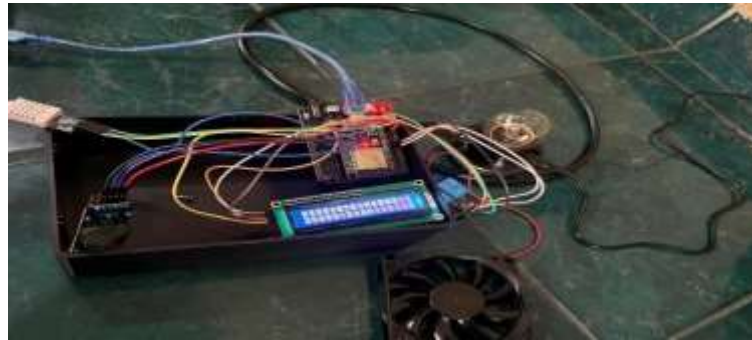
Berdasarkan implementasi yang telah dilakukan, sistem dapat mengintegrasikan proses pembacaan data, pengolahan menggunakan Logika Fuzzy Mamdani, pengendalian perangkat, pemberian notifikasi offline, pengiriman data, penyimpanan data, dan

penyajian informasi melalui website. Dengan demikian, hasil implementasi sistem telah sesuai dengan tujuan penelitian dalam membangun sistem monitoring proses fermentasi tempe berbasis IoT dan website.

4.2 Implementasi Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan pada sistem monitoring proses fermentasi tempe meliputi ESP32, sensor DHT22, RTC DS3231, LCD I2C, modul relay, lampu pemanas, kipas DC 12V, LED indikator, dan buzzer. Seluruh perangkat tersebut terintegrasi dan dikendalikan oleh ESP32 yang berperan sebagai pusat pengolahan data pada sistem. ESP32 menerima data hasil pengukuran dari sensor DHT22 berupa suhu dan kelembapan, serta memperoleh data waktu dari RTC DS3231. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai masukan dalam proses pengolahan sistem. LCD I2C berfungsi menampilkan hasil pembacaan suhu, kelembapan, dan informasi waktu fermentasi secara langsung, sehingga kondisi proses dapat dipantau tanpa perlu mengakses website.

Modul relay berfungsi sebagai perantara antara ESP32 dengan perangkat keluaran. Berdasarkan hasil pengujian, Relay K2 digunakan untuk mengontrol kipas DC 12V. Pada kondisi suhu berada pada atau di bawah 32 °C, relay berada dalam keadaan OFF sehingga kipas tidak beroperasi. Sebaliknya, apabila suhu melebihi 32 °C, relay berubah ke kondisi ON sehingga kipas DC 12V menyala. Selain kipas, lampu pemanas digunakan sebagai perangkat keluaran untuk membantu mempertahankan kondisi suhu di dalam box fermentasi sesuai dengan kebutuhan proses. Sistem ini juga dilengkapi dengan LED indikator dan buzzer sebagai media pemberitahuan secara offline. LED indikator menggunakan tiga warna, yaitu kuning untuk menunjukkan status Belum Matang, hijau untuk menunjukkan status Siap Panen, dan merah untuk menunjukkan status Over Fermentasi. Sementara itu, buzzer berfungsi memberikan notifikasi berupa suara ketika terjadi perubahan status fermentasi, khususnya saat sistem mencapai kondisi Siap atau Over Fermentasi.



Gambar 4.1 Prototipe Rancangan Alat

Hasil implementasi perangkat keras sistem monitoring proses fermentasi tempe.

Hasil implementasi perangkat keras menunjukkan bahwa masing-masing komponen dapat berfungsi sesuai dengan perannya. ESP32 dapat menerima data sensor, LCD dapat menampilkan informasi, relay dapat memberikan respons terhadap kondisi suhu yang dibaca oleh sistem, serta LED indikator dan buzzer dapat memberikan notifikasi berdasarkan status fermentasi. Dengan demikian, seluruh perangkat keras telah dapat mendukung proses monitoring dan pengendalian fermentasi yang dirancang.

4.3 Implementasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada sistem terdiri dari program ESP32, API sebagai penghubung perangkat dengan server, database MySQL sebagai media penyimpanan, dan website sebagai antarmuka monitoring. Program ESP32 juga mengatur LED indikator dan buzzer sebagai media notifikasi offline. Seluruh bagian tersebut saling terhubung untuk mendukung proses pengolahan, pengiriman, pemberian notifikasi, dan penyajian data. Program pada ESP32 berfungsi melakukan inisialisasi perangkat, membaca data DHT22, membaca waktu dari RTC DS3231, menghitung waktu fermentasi, menjalankan Logika Fuzzy Mamdani, serta mengendalikan relay. Program juga mengatur LED dan buzzer berdasarkan status fermentasi, yaitu LED kuning untuk Belum Matang, LED hijau untuk Siap, dan LED merah untuk Over Fermentasi. Buzzer digunakan sebagai notifikasi suara ketika terjadi perubahan status fermentasi.

Data yang telah diproses kemudian dikirim ESP32 melalui jaringan WiFi menuju API. Data tersebut meliputi suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status hasil

pengolahan fuzzy. API menerima data tersebut dan menyimpannya ke dalam database MySQL. Selanjutnya, website mengambil data dari database dan menampilkannya dalam bentuk dashboard monitoring, grafik, status fermentasi, dan riwayat monitoring.

4.4 Implementasi Alur Kerja Sistem

Implementasi alur kerja sistem menjelaskan tahapan kerja sistem monitoring mulai dari proses pembacaan parameter fermentasi sampai data ditampilkan kepada pengguna. Sistem diawali dengan ESP32 melakukan proses inisialisasi seluruh perangkat yang digunakan. Setelah proses inisialisasi selesai, ESP32 melakukan koneksi ke jaringan WiFi. Setelah koneksi berhasil, sensor DHT22 mulai membaca nilai suhu dan kelembapan, sedangkan RTC DS3231 digunakan untuk memperoleh waktu dan menghitung lama proses fermentasi.

Data suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi selanjutnya diproses menggunakan Logika Fuzzy Mamdani. Pada tahap ini, data masukan diolah berdasarkan himpunan dan aturan fuzzy yang telah ditentukan. Hasil pengolahan menghasilkan status fermentasi berupa Belum Matang, Siap, dan Over Fermentasi. Berdasarkan status fermentasi yang dihasilkan, ESP32 mengatur LED indikator dan buzzer sebagai media notifikasi offline. LED kuning digunakan untuk menunjukkan status Belum Matang, LED hijau digunakan untuk menunjukkan status Siap, dan LED merah digunakan untuk menunjukkan status Over Fermentasi. Buzzer digunakan untuk memberikan pemberitahuan suara ketika terjadi perubahan status fermentasi, terutama ketika sistem mencapai status Siap atau Over Fermentasi.

Setelah proses pengolahan dan pemberian notifikasi selesai, data dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan WiFi menuju API. API menerima data tersebut dan menyimpannya ke dalam database MySQL. Data yang telah tersimpan kemudian digunakan oleh website untuk ditampilkan dalam bentuk dashboard monitoring dan halaman riwayat.

Secara sederhana, alur kerja sistem dapat digambarkan sebagai berikut:

DHT22 + RTC DS3231 → ESP32 → Fuzzy Mamdani → Status Fermentasi → LED + Buzzer → WiFi → API → MySQL → Website

Alur tersebut menunjukkan bahwa proses monitoring dilakukan secara berurutan, mulai dari memperoleh data, mengolah data menggunakan Logika Fuzzy Mamdani, memberikan notifikasi melalui LED dan buzzer, mengirimkan data ke server, menyimpan data, hingga memberikan informasi kepada pengguna melalui website.



Gambar 4.2 Tampilan Lcd

4.5 Implementasi Logika Fuzzy Mamdani

Implementasi Logika Fuzzy Mamdani digunakan untuk menentukan status proses fermentasi tempe berdasarkan tiga parameter masukan, yaitu suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Ketiga parameter tersebut diperoleh dari DHT22 dan RTC DS3231 kemudian diproses oleh ESP32.

Tahapan Logika Fuzzy Mamdani yang diterapkan meliputi fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, inferensi, agregasi, dan penentuan hasil akhir. Hasil akhir proses fuzzy dikategorikan menjadi tiga kondisi, yaitu Belum Matang, Siap, dan Over Fermentasi.

4.5.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap untuk mengubah nilai hasil pembacaan parameter menjadi derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy yang telah ditentukan. Pada penelitian

ini terdapat tiga parameter input, yaitu suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi.

Tabel 4.1 Parameter suhu

Himpunan Suhu	Rentang
Rendah	20–28 °C
Normal	28–32 °C
Tinggi	32–40 °C

Parameter kelembapan dibagi menjadi tiga himpunan, yaitu Kering, Lembap, dan Basah:

Tabel 4.2 Parameter kelembapan

Himpunan Kelembapan	Rentang
Kering	50–70%
Lembab	70–90%
Basah	90–100%

Parameter waktu fermentasi dibagi menjadi tiga himpunan, yaitu Awal, Optimal, dan Lanjut.

Tabel 4.3 Parameter waktu

Himpunan Waktu	Rentang
Awal	0–24 jam
Optimal	24–48 jam
Lanjut	>48 jam

Nilai hasil pembacaan sensor kemudian dihitung menggunakan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan untuk memperoleh nilai derajat keanggotaan masing-masing himpunan.

4.5.2 Aturan Fuzzy

Setelah proses fuzzifikasi, sistem menerapkan aturan fuzzy berbentuk IF–THEN. Aturan digunakan untuk menentukan hubungan antara kondisi suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi dengan status proses fermentasi.

Tabel 4.4 Aturan Fuzzy

No.	Suhu	Kelembapan	Waktu	Status
1	Rendah	Kering	Awal	Belum Matang
2	Rendah	Lembap	Awal	Belum Matang
3	Rendah	Basah	Optimal	Siap
4	Normal	Kering	Awal	Belum Matang
5	Normal	Lembap	Optimal	Siap
6	Normal	Basah	Optimal	Siap
7	Tinggi	Kering	Optimal	Siap
8	Tinggi	Lembap	Lanjut	Over Fermentasi
9	Tinggi	Basah	Lanjut	Over Fermentasi

Aturan tersebut digunakan oleh sistem untuk menentukan nilai keluaran

berdasarkan kombinasi kondisi ketiga parameter masukan.

4.5.3 Inferensi dan Agregasi

Pada tahap inferensi, setiap aturan fuzzy dihitung berdasarkan derajat keanggotaan dari masing-masing parameter input. Operator AND digunakan dengan mengambil nilai minimum (MIN) dari derajat keanggotaan parameter yang terlibat dalam suatu rule. Selanjutnya, hasil dari aturan-aturan yang memiliki konsekuen atau keluaran yang sama digabungkan menggunakan operator maksimum (MAX).

Berdasarkan proses tersebut, diperoleh nilai derajat keanggotaan untuk masing-masing status fermentasi, yaitu Belum Matang, Siap, dan Over Fermentasi. Nilai hasil agregasi kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan status fermentasi berdasarkan derajat keanggotaan yang paling kuat.

4.5.4 Hasil Implementasi Fuzzy

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai suhu sebesar 26,4°C, kelembapan sebesar 63,1%, dan waktu fermentasi sekitar 1 jam. Berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan, kondisi tersebut termasuk dalam kategori suhu rendah, kelembapan kering, dan waktu fermentasi awal.

Berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan, kondisi tersebut termasuk

dalam kategori suhu rendah, kelembapan kering, dan waktu fermentasi awal. Kombinasi tersebut sesuai dengan Rule R1, yaitu:

Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Fuzzy

Hasil	Nilai
Derajat Belum Matang	0,20
Derajat Siap	0,00
Derajat Over Fermentasi	0,00

Berdasarkan nilai tersebut, sistem menghasilkan status: BELUM MATANG

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa derajat keanggotaan status Belum Matang sebesar 0,20, sedangkan status Siap dan Over Fermentasi masing-masing sebesar 0,00. Dengan demikian, nilai derajat keanggotaan terbesar terdapat pada status Belum Matang, sehingga hasil akhir proses fermentasi dikategorikan sebagai Belum Matang. Hasil tersebut sesuai dengan kondisi waktu fermentasi yang masih berada pada tahap awal.

4.6 Pengujian Komunikasi Data

Pengujian komunikasi data dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan data hasil pembacaan sensor dari ESP32 menuju server melalui jaringan WiFi. Data yang dikirimkan meliputi nilai suhu, kelembapan, waktu fermentasi, dan status hasil pengolahan Logika Fuzzy Mamdani. Pada proses pengujian, ESP32 terlebih dahulu melakukan koneksi ke jaringan WiFi. Setelah koneksi berhasil, data hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan fuzzy dikirimkan ke API menggunakan metode HTTP. API berfungsi sebagai penghubung antara ESP32 dengan database MySQL sehingga data yang diterima dapat disimpan dan digunakan oleh website.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, ESP32 berhasil mengirimkan data ke API. Hal tersebut ditunjukkan dengan munculnya HTTP Code 200 pada Serial Monitor ESP32. API juga memberikan respons bahwa data berhasil disimpan.

Tabel 4.6 Pengujian Komunikasi Data

No	Parameter	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Koneksi WiFi	Terhubung	Berhasil
2	Pengiriman suhu	Data diterima API	Berhasil
3	Pengiriman kelembapan	Data diterima API	Berhasil

4	Pengiriman waktu fermentasi	Data diterima API	Berhasil
5	Pengiriman status fuzzy	Data diterima API	Berhasil
6	Respons API	HTTP 200	Berhasil
7	Penyimpanan database	Data tersimpan	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, komunikasi antara ESP32, API, dan database MySQL dapat berjalan dengan baik. Data monitoring yang diperoleh dari perangkat dapat dikirimkan ke server dan disimpan ke dalam database sehingga dapat digunakan oleh website untuk menampilkan informasi kondisi fermentasi.

```

Mengirim data ke API...
suhu=32.2&kelembapan=55.9&waktu_fermentasi=188&status=Belum Matang
HTTP Code: 200
Response API:
{"status":true,"message":"Data berhasil disimpan","data":{"suhu":32.2,"kelembapan":55.9,"waktu_fermentasi":188,"status":"Belum Matang"}}

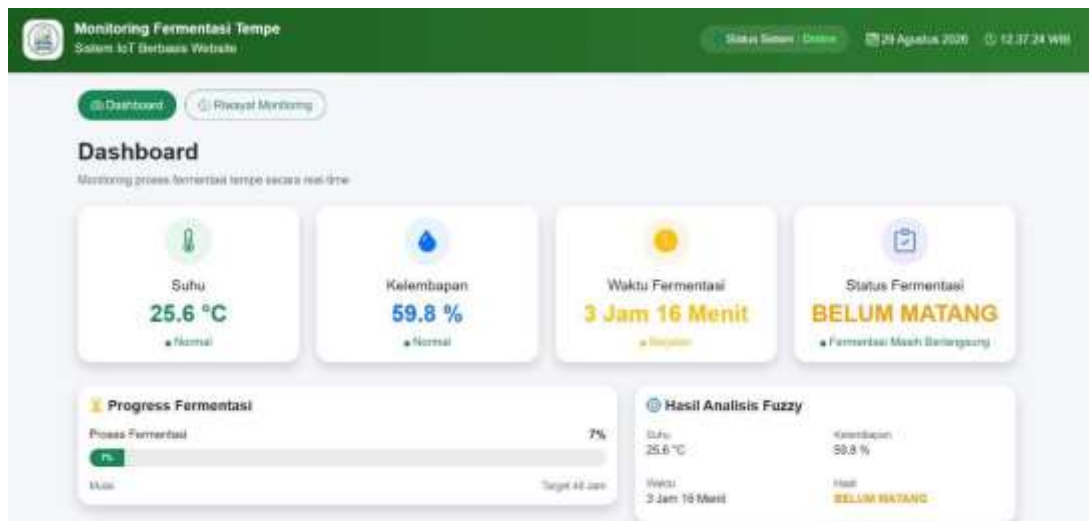
```

Gambar 4.3 Pengujian Komunikasi Data

4.7 Pengujian Website

Pengujian website dilakukan untuk memastikan data yang telah tersimpan pada database dapat ditampilkan kepada pengguna dengan baik. Website digunakan sebagai media monitoring kondisi fermentasi tempe dan menampilkan beberapa informasi utama, yaitu suhu, kelembapan, waktu fermentasi, status fermentasi, grafik monitoring, serta riwayat data.

Berdasarkan hasil pengujian, dashboard dapat menampilkan data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui API. Nilai suhu dan kelembapan ditampilkan pada dashboard, sedangkan waktu fermentasi ditampilkan dalam format jam dan menit.



Gambar 4.4 Tampilan Dashboard Website

Website juga menampilkan hasil analisis Fuzzy Mamdani berdasarkan data monitoring yang diterima. Selain itu, halaman Riwayat Monitoring dapat digunakan untuk melihat data monitoring yang telah tersimpan sebelumnya.

No.	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu Fermentasi	Status	Tanggal
1	25.6	59.8	3 Jam 16 Menit	BELUM MATANG	2020-05-28 02:40:38
2	25.6	59.8	3 Jam 16 Menit	BELUM MATANG	2020-05-28 02:40:34
3	25.6	59.8	3 Jam 16 Menit	BELUM MATANG	2020-05-28 02:40:29
4	25.6	59.8	3 Jam 16 Menit	BELUM MATANG	2020-05-28 02:40:24
5	25.6	59.8	3 Jam 16 Menit	BELUM MATANG	2020-05-28 02:40:18
6	25.6	59.8	3 Jam 16 Menit	BELUM MATANG	2020-05-28 02:40:13

Gambar 4.5 Tampilan Riwayat Website

Dengan demikian, website telah mampu berfungsi sebagai media monitoring yang menampilkan data dari sistem secara terintegrasi. Data yang sebelumnya dikirimkan oleh ESP32 dan disimpan pada database dapat ditampilkan kembali kepada pengguna melalui dashboard dan halaman riwayat monitoring.

4.8 Pengujian sistem keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh perangkat keras dan perangkat lunak dapat berfungsi secara terintegrasi sesuai dengan

rancangan sistem yang telah dibuat. Pengujian ini mencakup ESP32, sensor DHT22, RTC DS3231, LCD, modul relay, lampu pemanas, kipas DC 12V, LED indikator, buzzer, Logika Fuzzy Mamdani, API, database MySQL, serta website monitoring. Proses pengujian dilakukan dengan mengamati tahapan kerja sistem secara menyeluruh, mulai dari pembacaan parameter fermentasi oleh sensor, pengolahan data oleh ESP32, penentuan status fermentasi menggunakan Logika Fuzzy Mamdani, pengendalian perangkat keluaran, pemberian notifikasi melalui LED dan buzzer, pengiriman data ke server, penyimpanan data ke database, hingga penyajian data pada website.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu membaca nilai suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22 serta memperoleh informasi waktu fermentasi melalui RTC DS3231. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh

ESP32 dengan menerapkan Logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan status proses fermentasi. Pada salah satu pengujian, diperoleh nilai suhu sebesar 32,2 °C dan kelembapan sebesar 55,9%. Berdasarkan hasil pengolahan sistem, kondisi tersebut menghasilkan status Belum Matang dan menyebabkan kipas DC 12V aktif melalui Relay K2. Kipas dapat bekerja sesuai dengan batas kondisi suhu yang telah ditentukan pada program.

Pada kondisi tersebut, LED kuning menyala sebagai indikator yang menunjukkan status Belum Matang. Pengujian indikator dilakukan berdasarkan status fermentasi yang dihasilkan oleh sistem. Saat status menunjukkan Belum Matang, LED kuning menyala dan buzzer berada dalam kondisi tidak aktif. Ketika status berubah menjadi Siap, LED hijau menyala dan buzzer memberikan notifikasi suara.

Sementara itu, ketika sistem menunjukkan status Over Fermentasi, LED merah menyala dan buzzer juga memberikan notifikasi suara. Hasil tersebut menunjukkan bahwa

MySQL sehingga dapat digunakan oleh website sebagai informasi monitoring dan riwayat. Dengan proses tersebut, perubahan kondisi fermentasi dapat dicatat dan digunakan sebagai bahan pengamatan.



No	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Waktu Fermentasi	Status	Tanggal
1	25.8	88.8	3 Jan 16 Maret	Berkas Fermentasi	2026-03-28 02:40:39
2	25.8	88.8	3 Jan 16 Maret	Berkas Fermentasi	2026-03-28 02:40:34
3	25.8	88.8	3 Jan 16 Maret	Berkas Fermentasi	2026-03-28 02:40:29
4	25.8	88.8	3 Jan 16 Maret	Berkas Fermentasi	2026-03-28 02:40:24
5	25.8	88.3	3 Jan 16 Maret	Berkas Fermentasi	2026-03-28 02:40:18
6	25.8	88.3	3 Jan 16 Maret	Berkas Fermentasi	2026-03-28 02:40:13
7	25.8	88.3	3 Jan 16 Maret	Berkas Fermentasi	2026-03-28 02:40:08

Gambar 4.7 Tampilan proses pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem mampu melakukan pemantauan parameter fermentasi dan menghasilkan status berdasarkan pengolahan Logika Fuzzy Mamdani. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan untuk membantu proses pengamatan fermentasi tanpa harus melakukan pengamatan terhadap parameter secara manual.

4.10 Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem monitoring proses fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dilakukan. Pembahasan diarahkan pada ketercapaian tujuan penelitian dengan mengacu pada rumusan masalah yang telah ditetapkan pada BAB I. Dengan demikian, hasil pengujian setiap bagian sistem digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan monitoring, pengolahan data, penentuan status fermentasi, pemberian notifikasi, serta penyajian informasi melalui website.

4.10.1 Perancangan Sistem Monitoring Proses Fermentasi Tempe

Rumusan masalah pertama berkaitan dengan perancangan sistem monitoring waktu dan status proses fermentasi tempe berbasis IoT yang terintegrasi dengan website. Berdasarkan hasil implementasi, sistem berhasil dirancang dengan mengintegrasikan

perangkat keras dan perangkat lunak ke dalam suatu sistem monitoring yang saling terhubung. ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi mengolah data dari sensor DHT22 dan RTC DS3231. Sensor DHT22 digunakan untuk memperoleh data suhu dan kelembapan, sedangkan RTC DS3231 digunakan untuk memperoleh informasi waktu dan menghitung durasi proses fermentasi. LCD I2C digunakan sebagai media untuk menampilkan informasi monitoring secara langsung pada perangkat. Sistem juga menggunakan modul relay sebagai pengendali aktuator sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan pada program.

Selain komponen tersebut, sistem dilengkapi dengan LED indikator dan buzzer sebagai media notifikasi offline. LED digunakan untuk memberikan informasi visual mengenai status fermentasi, yaitu LED kuning untuk status Belum Matang, LED hijau untuk status Siap, dan LED merah untuk status Over Fermentasi. Buzzer digunakan sebagai pemberitahuan suara ketika terjadi perubahan status fermentasi, terutama ketika sistem mencapai status Siap atau Over Fermentasi.

Pada sisi perangkat lunak, data yang diperoleh dari perangkat diproses oleh ESP32 dan dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju API. Data yang diterima oleh API kemudian disimpan ke dalam database MySQL dan selanjutnya digunakan oleh website untuk menampilkan hasil monitoring. Integrasi tersebut membentuk suatu alur sistem yang meliputi proses pengambilan data, pengolahan, pengendalian, pemberian notifikasi, pengiriman, penyimpanan, dan penyajian informasi.

Berdasarkan hasil implementasi tersebut, dapat diketahui bahwa rancangan sistem telah mampu mengintegrasikan perangkat IoT dengan website monitoring serta menyediakan indikator lokal berupa LED dan buzzer. Dengan demikian, rumusan masalah pertama telah terjawab melalui terbentuknya sistem monitoring yang menggabungkan perangkat keras, perangkat lunak, database, website, dan sistem notifikasi dalam satu sistem.

4.10.2 Monitoring Suhu, Kelembapan, dan Waktu Fermentasi

Rumusan masalah kedua berkaitan dengan kemampuan sistem dalam melakukan pemantauan suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, sensor DHT22 mampu memberikan data suhu dan kelembapan yang digunakan sebagai parameter kondisi lingkungan fermentasi. Sementara itu, RTC DS3231 digunakan untuk memperoleh waktu dan menghitung durasi fermentasi. Data yang diperoleh dari kedua perangkat tersebut selanjutnya diproses oleh ESP32. Hasil pembacaan dapat ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke server melalui jaringan WiFi. Salah satu hasil pengujian menunjukkan nilai suhu sebesar 32,2 °C dan kelembapan sebesar 55,9%, dengan waktu fermentasi sekitar 3 jam 8 menit. Data tersebut berhasil diproses dan dikirimkan ke API. Keberhasilan proses pengiriman ditunjukkan dengan diperolehnya HTTP Code 200, yang menunjukkan bahwa permintaan dari ESP32 dapat diterima oleh server. Data hasil monitoring selanjutnya dapat disimpan ke dalam database dan digunakan oleh website.

Berdasarkan hasil tersebut, sistem telah mampu melakukan pengambilan dan pengiriman data parameter fermentasi secara terintegrasi. Dengan demikian,

rumusan masalah kedua telah terjawab, yaitu sistem dapat digunakan untuk memantau suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi sebagai parameter utama dalam proses monitoring.

4.10.3 Penerapan Logika Fuzzy Mamdani

Rumusan masalah ketiga berkaitan dengan penerapan Logika Fuzzy Mamdani dalam menentukan status proses fermentasi tempe berdasarkan parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Pada implementasinya, ketiga parameter tersebut digunakan sebagai variabel input dalam sistem fuzzy. Proses pengolahan dilakukan melalui tahapan fuzzifikasi, penerapan aturan fuzzy, inferensi, dan agregasi. Hasil pengolahan kemudian digunakan untuk menentukan kondisi fermentasi yang terdiri atas Belum Matang, Siap, dan Over Fermentasi.

Berdasarkan hasil pengujian, salah satu kondisi sistem menunjukkan suhu sebesar 26,4 °C, kelembapan 63,1%, dan waktu fermentasi sekitar 1 jam. Dari proses pengolahan fuzzy diperoleh nilai derajat keanggotaan Belum Matang sebesar 0,20, sedangkan derajat keanggotaan Siap sebesar 0,00 dan Over Fermentasi sebesar 0,00. Berdasarkan hasil tersebut, sistem menghasilkan status Belum Matang.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani dapat digunakan untuk mengolah beberapa parameter fermentasi secara bersamaan. Penggunaan suhu, kelembapan, dan waktu sebagai variabel input memungkinkan penentuan status tidak hanya didasarkan pada satu parameter, tetapi mempertimbangkan kombinasi kondisi yang terjadi selama proses fermentasi.

4.10.4 Penyajian Hasil Monitoring Melalui Website

Rumusan masalah keempat berkaitan dengan penyajian hasil monitoring dan status fermentasi melalui website secara real-time. Website pada sistem ini berfungsi sebagai antarmuka yang digunakan untuk menyajikan data hasil monitoring kepada pengguna. Data yang telah dikirimkan oleh ESP32 melalui API dan disimpan pada database MySQL selanjutnya digunakan oleh website untuk menampilkan informasi

kondisi fermentasi. Informasi yang disajikan meliputi nilai suhu, kelembapan, waktu fermentasi, status hasil pengolahan fuzzy, grafik monitoring, dan riwayat data.

Penggunaan website memberikan kemudahan dalam proses pemantauan karena pengguna dapat memperoleh informasi mengenai kondisi fermentasi melalui satu halaman monitoring tanpa harus melakukan pembacaan secara langsung pada perangkat. Selain itu, tersedianya riwayat monitoring memungkinkan data yang telah tersimpan dapat digunakan untuk melihat perkembangan hasil pemantauan sebelumnya.

4.10.5 Analisis Sistem Secara Keseluruhan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah mampu mengintegrasikan proses pengukuran parameter fermentasi, pengolahan data menggunakan Logika Fuzzy Mamdani, pengiriman data melalui jaringan WiFi, penyimpanan data pada database MySQL, serta penyajian informasi melalui website. Sistem juga dilengkapi LED dan buzzer sebagai media notifikasi offline. DHT22 dan RTC DS3231 berfungsi menyediakan parameter input, ESP32 melakukan pengolahan dan pengendalian sistem, sedangkan Logika Fuzzy Mamdani digunakan untuk menentukan status fermentasi. API dan MySQL mendukung proses pertukaran dan penyimpanan data, sementara website digunakan untuk menampilkan hasil monitoring.

Hasil pengujian komunikasi data yang menunjukkan HTTP Code 200 membuktikan bahwa proses komunikasi antara perangkat dan server dapat berjalan dengan baik. Pengujian Relay K2 juga menunjukkan bahwa sistem mampu merespons kondisi suhu dengan mengaktifkan kipas DC 12V sesuai kondisi yang telah ditentukan. Pengujian LED dan buzzer menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan indikator sesuai status fermentasi, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi fermentasi secara langsung melalui perangkat.

Secara keseluruhan, sistem yang dirancang telah mampu menjalankan fungsi utamanya sebagai sistem monitoring proses fermentasi tempe berbasis IoT yang terintegrasi dengan website dan menerapkan Logika Fuzzy Mamdani untuk menentukan

status fermentasi. Penambahan LED indikator dan buzzer memberikan mekanisme notifikasi offline, sehingga informasi status fermentasi dapat diketahui melalui website maupun secara langsung melalui perangkat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring proses fermentasi tempe berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring proses fermentasi tempe berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan ESP32, sensor DHT22, RTC DS3231, LCD I2C, LED indikator, buzzer, modul relay, API, database MySQL, dan website. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendalian dan pengolahan data, sedangkan perangkat lainnya mendukung proses pengukuran, pengendalian, pemberian notifikasi, penyimpanan, dan penyajian informasi monitoring.
2. Sistem mampu melakukan monitoring terhadap parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Sensor DHT22 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan, sedangkan RTC DS3231 digunakan untuk memperoleh waktu dan menghitung durasi fermentasi. Data hasil monitoring dapat dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju API dan disimpan pada database MySQL untuk selanjutnya ditampilkan melalui website.
3. Logika Fuzzy Mamdani berhasil diterapkan untuk menentukan status fermentasi berdasarkan parameter suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi. Hasil pengolahan menghasilkan status fermentasi berupa Belum Matang, Siap, dan Over Fermentasi berdasarkan aturan fuzzy yang telah ditentukan.
4. Sistem mampu memberikan notifikasi offline menggunakan LED indikator dan buzzer berdasarkan status fermentasi. LED kuning digunakan untuk

menunjukkan status Belum Matang, LED hijau untuk status Siap, dan LED merah untuk status Over Fermentasi. Buzzer digunakan sebagai pemberitahuan suara ketika terjadi perubahan status fermentasi sesuai dengan program yang telah dibuat.

5. Website monitoring berhasil digunakan untuk menampilkan informasi hasil monitoring berupa suhu, kelembapan, waktu fermentasi, status fermentasi, grafik, dan riwayat monitoring. Hasil pengujian komunikasi dengan HTTP Code 200 menunjukkan bahwa proses pengiriman data dari ESP32 menuju API dapat berjalan dengan baik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem selanjutnya adalah:

1. Pengujian sistem dapat dilakukan pada proses fermentasi tempe dengan jumlah sampel dan waktu pengamatan yang lebih banyak sehingga diperoleh data yang lebih beragam untuk mengevaluasi kinerja sistem.
2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan dan menyempurnakan mekanisme pengendalian lampu pemanas dan kipas sehingga kondisi lingkungan fermentasi dapat dikendalikan secara lebih optimal.
3. Website dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur notifikasi online, pencarian dan penyaringan riwayat data, serta ekspor data hasil monitoring sehingga informasi hasil fermentasi dapat diakses dan diterima pengguna dengan lebih mudah.
4. Penelitian selanjutnya dapat melakukan perbandingan Logika Fuzzy Mamdani dengan metode lain untuk mengetahui metode yang lebih sesuai dalam menentukan status proses fermentasi tempe.

DAFTAR PUSTAKA

- Dharmastuti, Siti Hanadiya. n.d. Rancang Bangun Sistem Tracer Study Pada Ma Tahfidz Al-Hidayah Tulungagung Berbasis Web.
- Dirgantara, Data Ardian, and Rian Andrian. 2023. 'Pengembangan Responsif Website Untuk Semarang Heritage Run 2022 Dengan Framework Bootstrap'. Jurnal Media Infotama 19(2):433–38. doi:10.37676/jmi.v19i2.4346.
- Efendi, Yoyon. 2018. 'Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile'. Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer 4(2):21–27. doi:10.35329/jiik.v4i2.41.
- Hurtado, Santiago, Alfonso Rodríguez, and Diana Bonilla. 2020. 'Sistem Kontrol Dan Monitoring Suhu Dan Kelembaban Udara Pada Fermentasi Menggunakan Modul ESP8266 Dengan Platform IoT'. Universidad Tecnológica de Pereira 7:1–20.
- Karima, Iffa, and Abdul Rahman. 2024. Implementasi Metode Fuzzy Mamdani Dalam Pengambilan Keputusan Rekomendasi Jumlah Produksi. Vol. 1. <https://jurnal.citanusantara.id/index.php/inokom>.
- Kusumawati, Nilam, and Rahmat Inggi. 2022. 'Prototype Sistem Pengendali Lampu Rumah Berbasis Mikrokontroler Menggunakan SMS'. Simkom 6(2):95–103. doi:10.51717/simkom.v6i2.87.
- Lianawati, Yosita, Christy Mahendra, Gerson Manuel Sugianto, Syukur Jaya Mendrofa, Angelica Lulu Setiani, and Bernarditus Yordan Baraga. 2024. 'Sistem Monitoring Dan Controlling "Smart Waste" Berbasis Internet of Things Menggunakan Modul ESP 32'. Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE) 6(2):163–75. doi:10.20895/jtece.v6i2.1400.
- Muhamad Hilmansyah Susanta. 2024. 'Prototype Penggunaan Empat Sensor Ultrasonik Pada Palang Otomatis Berbasis Arduino UNO'. Scientica 2:1–6.
- Muzakki Andoko, Aldho, Jaka Prayudha, Suardi Yakub, Program Studi Sistem Komputer, and Stmik Triguna Dharma. 2018. Implementasi *Internet Of Things* (Iot) Monitoring Dan Pengatur Suhu Ruangan Fermentasi Tempe Berbasis Nodemcu. Vol. 1. <https://ojs.trigunadharma.ac.id/>.
- Permata Sari, Atikah. n.d. 'Rancang Bangun Sistem Informasi Pengelolaan Talent Film Berbasis Aplikasi Web'. Jurnal Informatika Terpadu 6(1):29–37. <https://journal.nurulfikri.ac.id/index.php/JIT>.
- Putra, A., & Paramarta, D. 2022. 'Mikrokontroler: Pengertian, Fungsi, Dan Jenis-Jenisnya.' Universitas Medan Area 5.
- Rachmat Aulia. 2021. 'Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Fan Dan DHT11 Berbasis Arduino'. Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Fan Dan Dht11 Berbasis Arduino 6(2502–7131):1–9.
- Raju, Muhammad. n.d. Perancangan Software Robot Pencari Dan Penyusun Menara Lagori Pada Abu Robocon 2022. Vol. 22.
- Rindit, Winiati P. Rahayu, Pambayun Umar, Santoso Lilis, and Nuraida Ardiansyah. 2015. Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (*The Indonesian Association of Food Technologists*). <http://patpi.or.id>.

- Sine, Yuni, and Endang Soetarto. 2021. 'Kualitas Tempe Gude (Cajanus Cajan (L) Millps.) Berdasarkan Karakteristik Morfologi Dan Lama Waktu Fermentasi'. *Indigenous Biologi : Jurnal Pendidikan Dan Sains Biologi* 3(3):96–102. doi:10.33323/indigenous.v3i3.167.
- Tri Tajrin. 2016. Pemanfaatan Flowchart Untuk Kebutuhan Deskripsi Proses Bisnis.
- Usman, 2013 : 276. 2013. 'Sistem Monitoring'.
- Wahyu Januari. 2018. 'Sistem Presensi Mahasiswa Dengan Rfid Berbasis Arduino Uno'. 3–13.
- Zahroh. 2025. 'Peran Rhizopus SPP. Dalam Tempe Sebagai Agen Antimikroba Alami: Studi Praktikum Farmasi Berbasis Eksperimen'. *Jurnal Ilmu Psikologi Dan Kesehatan* 02(02):70–77. *Use the "Insert Citation" button to add citations to this document.*