

SISTEM MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN SERTA PENGATURAN SUHU RUANG FERMENTASI TAPE KETAN BERBASIS IOT MENGGUNAKAN PROTOKOL MQTT

Khalisia Fadna¹, Indrawati², Afla Nevrisa³, Amir D.⁴

^{1,2,3}Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁴Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: khalisiefadna473@gmail.com¹, indrawati@pnl.ac.id², aflanevrisa@pnl.ac.id, amird@pnl.ac.id⁴

Corresponding Author : Indrawati

Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: indrawati@pnl.ac.id

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantau suhu dan kelembaban serta pengontrol suhu ruang fermentasi tape ketan berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, relay untuk mengendalikan lampu pemanas dan kipas, serta protokol MQTT dengan broker HiveMQ Cloud untuk pertukaran data dengan aplikasi Flutter. Suhu ruang fermentasi menggunakan setpoint 30°C dengan tiga kondisi pengendalian, yaitu suhu di bawah 29,5°C untuk menyalakan lampu dan mematikan kipas, suhu 29,5–30,5°C untuk mematikan kedua aktuatur, dan suhu di atas 30,5°C untuk menyalakan kipas dan mematikan lampu. Pengujian dilakukan selama dua hari untuk mengevaluasi pembacaan sensor, respons kontrol suhu, komunikasi MQTT, serta kondisi suhu dan kelembaban ruang fermentasi. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata suhu sebesar 30,39°C dan kelembaban sebesar 97,01% RH, dengan rentang suhu 26,0–32,4°C dan kelembaban 86,1–100% RH. Suhu lebih sering berada di atas setpoint 30°C sehingga sistem belum sepenuhnya mampu mempertahankan suhu pada kondisi optimal. Pengujian komunikasi menunjukkan 14 dari 14 perintah berhasil diterima dan dijalankan oleh ESP32, sehingga tingkat keberhasilan pada skenario pengujian yang dilakukan mencapai 100%. Pengujian sensor terhadap alat ukur standar menghasilkan rata-rata error sebesar 0,65% untuk suhu dan 1,75% untuk kelembaban. Kelembaban hanya dipantau dan belum dikendalikan secara otomatis. Setelah dua hari fermentasi, tape ketan menunjukkan tekstur yang lebih lunak, aroma khas fermentasi, dan terbentuknya cairan hasil fermentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan untuk membantu pemantauan kondisi ruang fermentasi serta pengendalian suhu secara otomatis dan manual.

Kata-kunci: ESP32, IoT, MQTT, Suhu dan Kelembaban, Tape Ketan.

Abstract – This study aims to design and implement an *Internet of Things* (IoT)-based system for monitoring temperature and humidity and controlling the temperature of a glutinous rice tape fermentation chamber. The system uses an ESP32 as the controller, a DHT22 sensor to measure temperature and humidity, a relay to control the heating lamp and fan, and the MQTT protocol with the HiveMQ Cloud broker for data exchange with a Flutter application. The fermentation room temperature is set to a setpoint of 30°C with three control conditions: temperatures below 29.5°C to turn on the heater and turn off the fan; temperatures between 29.5°C and 30.5°C to turn off both actuators; and temperatures above 30.5°C to turn on the fan and turn off the heater. Testing was conducted over two days to evaluate sensor readings, temperature control response, MQTT communication, and the temperature and humidity conditions in the fermentation chamber. The test results showed an average temperature of 30.39°C and humidity of 97.01% RH, with a temperature range of 26.0–32.4°C and a humidity range of 86.1–100% RH. The temperature more often exceeded the 30°C setpoint, indicating that the system was not yet fully capable of maintaining the temperature at optimal conditions. Communication testing showed that 14 out of 14 commands were successfully received and executed by the ESP32, resulting in a 100% success rate for the test scenarios conducted. Comparison of the sensor readings with a standard measurement instrument yielded an average error of 0.65% for temperature and 1.75% for humidity. Humidity was only monitored and not yet automatically controlled. After two days of fermentation, the glutinous rice tape exhibited a softer texture, a characteristic fermented aroma, and the formation of fermentation liquid. The research results indicate that the system can be used to assist in monitoring fermentation chamber conditions as well as for both automatic and manual temperature control.

Keywords: ESP32, IoT, MQTT, Temperature and Humidity, Glutinous Rice Tape.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong penerapan sistem pemantauan secara otomatis pada berbagai bidang, termasuk pemantauan kondisi lingkungan. Teknologi IoT memungkinkan data dari sensor dikirimkan melalui jaringan dan ditampilkan pada aplikasi sehingga kondisi yang dipantau dapat diketahui secara real-time. Penerapan sistem pemantauan berbasis IoT menggunakan sensor suhu dan kelembaban serta protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) telah dilakukan untuk memperoleh data lingkungan secara berkala dan dapat dipantau dari jarak jauh [1], [2]. Dalam bidang pangan, teknologi tersebut dapat diterapkan pada proses fermentasi tape ketan yang melibatkan aktivitas mikroorganisme dari ragi. Penelitian mengenai fermentasi tape ketan menunjukkan adanya perubahan karakteristik kimia selama proses fermentasi, salah satunya ditunjukkan melalui perubahan kadar etanol berdasarkan lama fermentasi [3][4][5].

Pemantauan kondisi selama proses fermentasi diperlukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi selama proses berlangsung. Penelitian Sani dkk. telah mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kadar alkohol pada fermentasi tape ketan berbasis IoT [3]. Selanjutnya, Silallagan dkk. mengembangkan alat pemantauan fermentasi tape berbasis IoT dengan memanfaatkan data sensor dan algoritma C4.5 untuk mengidentifikasi kondisi fermentasi, dengan hasil akurasi klasifikasi sebesar 100% [4]. Penelitian lain menunjukkan bahwa perlakuan penyimpanan berpengaruh terhadap karakteristik dan masa simpan tape ketan [6], sedangkan konsentrasi ragi dapat memengaruhi kualitas tape beras ketan [7]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kondisi proses dan lingkungan perlu diperhatikan untuk mendukung proses fermentasi tape ketan.

Pada pengembangan sistem pengendalian fermentasi, Wibowo dan Ridwan menerapkan pengendalian suhu dan kelembaban ruang fermentasi untuk mengoptimalkan proses fermentasi singkong [8]. Penelitian tersebut menunjukkan penggunaan sensor dan aktuator untuk mengendalikan kondisi lingkungan ruang fermentasi. Sementara itu, protokol MQTT telah digunakan pada sistem IoT untuk mendukung komunikasi data antara perangkat dan aplikasi melalui mekanisme publish-subscribe [1], [2]. Penelitian Indrawati dkk. juga menunjukkan penerapan integrasi sistem monitoring berbasis IoT untuk pemantauan kondisi lingkungan [9]. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini menerapkan komunikasi MQTT antara ESP32, broker HiveMQ Cloud, dan aplikasi Flutter untuk mendukung pemantauan data sensor serta pengiriman perintah pengendalian suhu.

Berdasarkan penelitian terdahulu, penelitian Sani dkk. [3] berfokus pada pemantauan suhu dan kadar alkohol pada fermentasi tape ketan, sedangkan Silallagan dkk. [4] berfokus pada pemantauan dan klasifikasi kondisi fermentasi tape berbasis IoT. Kedua penelitian tersebut belum mengintegrasikan pemantauan suhu dan

kelembaban dengan pengendalian suhu menggunakan aktuator secara otomatis serta kontrol manual melalui aplikasi dalam satu sistem. Di sisi lain, penelitian Wibowo dan Ridwan [8] telah menerapkan pengendalian suhu dan kelembaban pada ruang fermentasi, tetapi objek penelitian yang digunakan adalah fermentasi singkong. Penelitian Indrawati dkk. [9] berfokus pada integrasi sistem monitoring berbasis IoT, tetapi belum diterapkan secara khusus untuk pemantauan kondisi ruang fermentasi tape ketan yang dilengkapi pengendalian suhu. Dengan demikian, gap penelitian terletak pada kebutuhan integrasi antara pemantauan suhu dan kelembaban, pengendalian suhu otomatis, kontrol manual melalui aplikasi, serta komunikasi MQTT yang diterapkan secara khusus pada ruang fermentasi tape ketan.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban serta pengendalian suhu ruang fermentasi tape ketan menggunakan ESP32, sensor DHT22, relay, lampu pemanas, dan kipas. Komunikasi data menggunakan protokol MQTT dengan broker HiveMQ Cloud, sedangkan aplikasi Flutter digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran dan memberikan kontrol manual terhadap aktuator. Posisi kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pemantauan suhu dan kelembaban, pengendalian suhu otomatis berdasarkan batas suhu, kontrol manual melalui aplikasi Flutter, serta komunikasi MQTT dalam satu sistem ruang fermentasi tape ketan. Sistem dirancang dengan tiga kondisi pengendalian, yaitu suhu di bawah 29,5°C, suhu 29,5–30,5°C, dan suhu di atas 30,5°C, yang digunakan sebagai dasar pengoperasian lampu dan kipas. Penelitian ini mengevaluasi pembacaan sensor, keberhasilan pengendalian aktuator, keberhasilan pengiriman perintah MQTT, serta kondisi suhu dan kelembaban selama proses fermentasi untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendukung pemantauan dan pengendalian suhu ruang fermentasi tape ketan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. IoT dan MQTT pada Sistem Pemantauan

Penelitian mengenai penerapan IoT untuk pemantauan kondisi lingkungan telah dilakukan menggunakan berbagai parameter dan protokol komunikasi. Cahyandari dan Putra mengembangkan sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT menggunakan protokol MQTT. Penelitian tersebut menunjukkan penggunaan MQTT untuk mengirimkan data suhu dan kelembaban pada sistem IoT [1]. Handy dan Pardede juga menerapkan protokol MQTT dan Node-RED untuk pemantauan suhu dan kelembaban ruang kelas berbasis IoT [2]. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa MQTT dapat digunakan untuk mendukung pertukaran data antara perangkat sensor dan sistem pemantauan. Pada penelitian ini, komunikasi MQTT dikembangkan untuk menghubungkan ESP32, broker HiveMQ Cloud, dan aplikasi Flutter, serta

digunakan tidak hanya untuk pemantauan data tetapi juga untuk pengiriman perintah pengendalian aktuator.

B. Fermentasi Tape Ketan dan Parameter Pemantauan

Penelitian mengenai fermentasi tape ketan menggunakan berbagai parameter untuk menggambarkan perubahan selama proses fermentasi. Sediarmo dkk. melakukan penelitian mengenai penetapan kadar etanol pada tape ketan putih berdasarkan lama fermentasi [5]. Suaniti meneliti kadar etanol dalam tape sebagai hasil fermentasi beras ketan dengan *Saccharomyces cerevisiae* [6], sedangkan Maryana dkk. mengkaji kadar etanol dan asam asetat pada fermentasi ketan putih [7]. Penelitian Sani dkk. mengembangkan sistem monitoring suhu dan kadar alkohol pada fermentasi tape ketan berbasis IoT [3]. Silallagan dkk. mengembangkan alat monitoring fermentasi tape berbasis IoT menggunakan algoritma C4.5 pada platform ThingSpeak dan memperoleh akurasi klasifikasi sebesar 100% [4]. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa suhu, kadar alkohol, kadar etanol, dan parameter hasil fermentasi dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi proses fermentasi. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada suhu dan kelembaban ruang fermentasi sebagai parameter lingkungan, dengan suhu digunakan sebagai dasar pengendalian lampu pemanas dan kipas.

C. Faktor Proses dan Lingkungan Fermentasi

Safitria dkk. meneliti pengaruh penggunaan daun pandan dan daun pisang terhadap lama masa simpan tape ketan [6]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa perlakuan bahan pembungkus dapat memengaruhi karakteristik dan masa simpan tape ketan. Sementara itu, Amran dan Abbasyakhrin meneliti pengaruh konsentrasi ragi terhadap kualitas tape beras ketan dan menunjukkan bahwa kualitas tape dapat dipengaruhi oleh faktor bahan dan proses fermentasi [7]. Penelitian ini menggunakan pendekatan yang berbeda karena tidak mengubah jenis pembungkus maupun konsentrasi ragi, tetapi berfokus pada pemantauan kondisi lingkungan ruang fermentasi dan pengendalian suhu.

D. Pengendalian Suhu dan Kelembaban Ruang Fermentasi

Wibowo dan Ridwan menerapkan pengendalian suhu dan kelembaban ruang fermentasi untuk mengoptimalkan proses fermentasi singkong [8]. Penelitian tersebut menggunakan sensor dan aktuator untuk mengendalikan kondisi lingkungan ruang fermentasi. Penelitian ini memiliki kesamaan dalam penggunaan sensor dan aktuator, tetapi memiliki objek fermentasi yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan ESP32, DHT22, relay, lampu pemanas, kipas, MQTT, HiveMQ Cloud, dan aplikasi Flutter untuk mengintegrasikan proses pembacaan sensor, pertukaran data, pemantauan, dan pengendalian suhu.

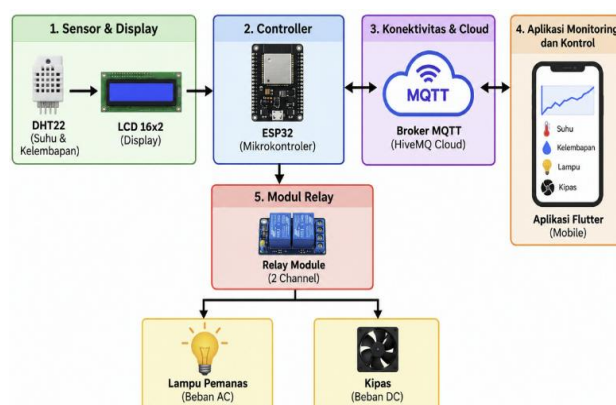
E. Integrasi Sistem dan Fokus Evaluasi

Indrawati dkk. melakukan penelitian mengenai integrasi sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT untuk pemantauan kondisi lingkungan [9]. Penelitian tersebut menunjukkan penerapan integrasi sistem monitoring menggunakan teknologi IoT. Penelitian ini mengembangkan pendekatan tersebut pada ruang fermentasi tape ketan dengan parameter suhu dan kelembaban serta dilengkapi pengendalian suhu menggunakan lampu pemanas dan kipas. Fokus evaluasi penelitian tidak hanya pada keberhasilan pemantauan, tetapi juga pada akurasi pembacaan sensor, respons aktuator terhadap kondisi suhu, keberhasilan pengiriman perintah melalui MQTT, serta kondisi suhu dan kelembaban selama proses fermentasi. Dengan demikian, evaluasi diarahkan untuk mengetahui keterkaitan antara fungsi pemantauan, komunikasi, dan pengendalian dalam satu sistem IoT.

III. METODOLOGI

A. Arsitektur Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban serta Pengaturan Suhu Ruang Fermentasi Tape Ketan Berbasis IoT

Arsitektur sistem dilakukan untuk membangun sistem pemantauan suhu dan kelembaban serta pengendalian suhu ruang fermentasi tape ketan berbasis IoT. Sistem terdiri atas sensor DHT22, ESP32, modul relay, lampu pemanas, kipas, LCD, jaringan internet, broker MQTT HiveMQ Cloud, dan aplikasi Flutter. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban ruang fermentasi. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32. Nilai suhu digunakan sebagai dasar pengendalian lampu pemanas dan kipas berdasarkan tiga kondisi pengendalian. Jika suhu di bawah 29,5°C, lampu pemanas dinyalakan dan kipas dimatikan. Jika suhu berada pada rentang 29,5–30,5°C, lampu dan kipas dimatikan. Jika suhu lebih dari 30,5°C, lampu dimatikan dan kipas dinyalakan. Tampilan arsitektur sistem seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gbr. 1 Arsitektur Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban serta Pengaturan Suhu Ruang Fermentasi Tape Ketan Berbasis IoT

Kelembaban pada penelitian ini hanya dipantau karena sistem belum dilengkapi aktuator khusus untuk

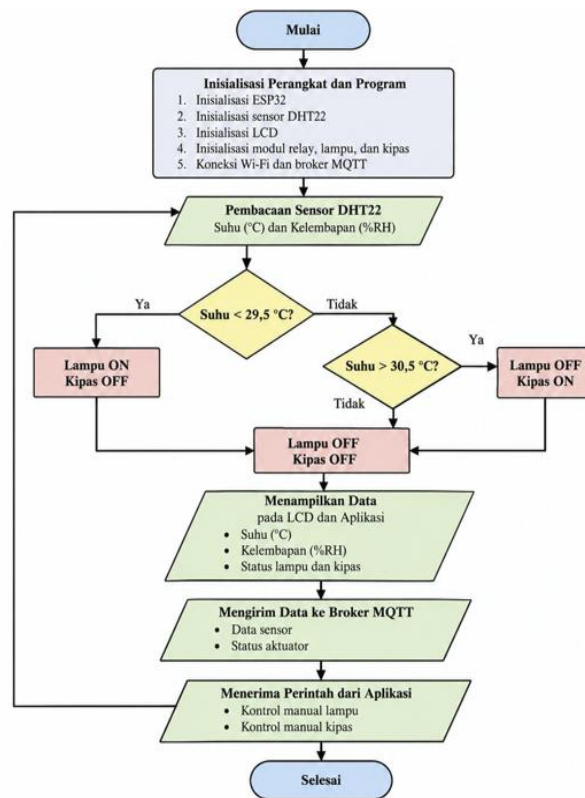
mengendalikan kelembaban. Data suhu, kelembaban, serta status aktuator dikirimkan oleh ESP32 melalui protokol MQTT menuju HiveMQ Cloud. Data tersebut selanjutnya dapat ditampilkan pada aplikasi Flutter secara real-time. Aplikasi juga digunakan untuk memberikan perintah kontrol manual terhadap lampu dan kipas.

B. Flowchart Sistem

Flowchart sistem digunakan untuk menggambarkan tahapan proses monitoring dan pengendalian suhu pada ruang fermentasi tape ketan secara sistematis, mulai dari inisialisasi perangkat, pembacaan parameter lingkungan, pengolahan data oleh ESP32, pengendalian aktuator, hingga pertukaran data melalui protokol MQTT. Sistem dirancang untuk memperoleh data suhu dan kelembaban secara berkala menggunakan sensor DHT22, dengan parameter suhu digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengendalikan lampu pemanas dan kipas. Proses diawali dengan inisialisasi ESP32, sensor DHT22, LCD, modul relay, serta koneksi jaringan internet dan broker MQTT. Setelah seluruh perangkat dan koneksi berhasil diinisialisasi, sensor DHT22 membaca suhu dan kelembaban ruang fermentasi, kemudian data tersebut diproses oleh ESP32 dan ditampilkan pada LCD sebagai informasi kondisi lingkungan secara lokal.

Nilai suhu hasil pembacaan selanjutnya dibandingkan dengan batas pengendalian yang telah ditentukan. Apabila suhu kurang dari 29,5°C, ESP32 mengaktifkan lampu pemanas dan mematikan kipas. Pada rentang suhu 29,5–30,5°C, lampu pemanas dan kipas berada dalam kondisi mati, sedangkan apabila suhu lebih dari 30,5°C, lampu pemanas dimatikan dan kipas diaktifkan. Mekanisme tersebut diterapkan untuk menjaga kondisi suhu ruang fermentasi tetap berada di sekitar setpoint yang ditetapkan. Selanjutnya, data suhu, kelembaban, dan status aktuator dikirimkan oleh ESP32 melalui protokol MQTT menuju HiveMQ Cloud sebagai broker komunikasi. Data tersebut kemudian diteruskan ke aplikasi Flutter sehingga pengguna dapat memantau kondisi ruang fermentasi secara jarak jauh. Aplikasi juga menyediakan mekanisme pengendalian manual yang memungkinkan pengguna mengirimkan perintah kepada ESP32 melalui MQTT untuk mengubah status lampu pemanas dan kipas.

Seluruh tahapan proses berlangsung secara berulang selama sistem beroperasi. Setelah data sensor dan status aktuator ditampilkan serta dikirimkan melalui MQTT, sistem kembali melakukan pembacaan sensor untuk memperoleh kondisi lingkungan terbaru, kemudian menjalankan kembali proses pengambilan keputusan dan pengendalian aktuator. Dengan mekanisme tersebut, sistem dapat melakukan monitoring suhu dan kelembaban sekaligus pengendalian suhu secara kontinu, sedangkan kelembaban berfungsi sebagai parameter pemantauan kondisi lingkungan fermentasi. Keseluruhan alur proses monitoring, komunikasi data, dan pengendalian tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gbr. 2 Flowchart Sistem

C. Skenario Pengujian Hasil Rancangan Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi fungsi sistem hasil rancangan yang meliputi pembacaan sensor, pengendalian aktuator, komunikasi MQTT, serta kondisi lingkungan ruang fermentasi. Pengujian dilakukan selama dua hari proses fermentasi. Parameter yang diamati meliputi suhu, kelembaban, kondisi lampu, kondisi kipas, keberhasilan penerimaan perintah MQTT, serta kondisi fisik tape ketan.

Pengujian kontrol suhu dilakukan berdasarkan tiga kondisi. Ketika suhu <29,5°C, ESP32 memberikan perintah untuk menyalakan lampu pemanas dan mematikan kipas. Ketika suhu berada pada 29,5–30,5°C, lampu dan kipas dimatikan. Ketika suhu >30,5°C, lampu dimatikan dan kipas dinyalakan.

Pengujian komunikasi MQTT dilakukan dengan mengirimkan perintah kontrol dari aplikasi Flutter menuju ESP32 melalui broker HiveMQ Cloud. Keberhasilan komunikasi ditentukan berdasarkan apakah perintah yang dikirim dapat diterima oleh ESP32 dan dijalankan oleh aktuator sesuai perintah. Tingkat keberhasilan dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Tingkat keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah perintah berhasil}}{\text{Jumlah perintah yang dikirim}} \times 100 \quad (1)$$

Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan DHT22 dengan alat ukur standar pada waktu dan kondisi yang sama. Nilai error digunakan untuk mengetahui perbedaan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar.

D. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran, pengamatan, dan pencatatan selama proses pengujian. Pengukuran suhu dan kelembaban dilakukan menggunakan sensor DHT22 yang terhubung dengan ESP32. Sebagai pembanding, pengukuran suhu dan kelembaban juga dilakukan menggunakan alat ukur standar pada kondisi dan waktu yang sama.

Pengamatan dilakukan terhadap perubahan kondisi suhu, kelembaban, status lampu, status kipas, penerimaan perintah MQTT, serta tampilan data pada aplikasi Flutter dan HiveMQ Cloud. Data hasil pengukuran dan pengamatan dicatat pada setiap waktu pengambilan data untuk selanjutnya digunakan dalam analisis kinerja sistem.

Kondisi tape ketan juga diamati selama proses fermentasi berdasarkan perubahan tekstur, aroma, dan terbentuknya cairan hasil fermentasi.

E. Metode Analisis Data

Data dianalisis dengan melihat nilai minimum, maksimum, dan rata-rata suhu serta kelembaban. Hasil pengujian lampu, kipas, dan keberhasilan pengiriman perintah MQTT kemudian dibandingkan dengan kondisi yang telah ditentukan. Hasil suhu dan kelembaban dibandingkan dengan acuan fermentasi yang digunakan dalam penelitian. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel untuk melihat kemampuan sistem.

F. Acuan Suhu dan Kelembaban Fermentasi

Acuan suhu dan kelembaban digunakan untuk mengevaluasi kondisi ruang fermentasi tape ketan. Rahayu et al. [10] menjelaskan bahwa tape ketan merupakan pangan fermentasi yang dibuat pada suhu 25–30°C selama 2–4 hari. Ramadhani [11] melaporkan kondisi fermentasi tape dengan suhu 21–28°C dan kelembaban 75–80% RH. Dalam penelitian ini, rentang acuan literatur 25–30°C digunakan sebagai acuan suhu, sedangkan 75–80% RH digunakan sebagai rentang operasional untuk evaluasi kelembaban. Dengan demikian, suhu di bawah 25°C dikategorikan berada di bawah acuan, suhu 25–30°C berada dalam rentang acuan literatur, dan suhu di atas 30°C melebihi batas acuan. Untuk kelembaban, nilai di bawah 75% RH dikategorikan berada di bawah rentang operasional, nilai 75–80% RH berada dalam rentang operasional, sedangkan nilai di atas 80% RH berada di atas rentang operasional.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Prototipe Sistem

Bagian ini menyajikan implementasi prototipe sistem yang telah dibuat untuk memantau suhu dan kelembaban serta mengatur suhu ruang fermentasi tape ketan. Prototipe terdiri atas bejana fermentasi yang terintegrasi dengan ESP32, sensor DHT22, modul relay,

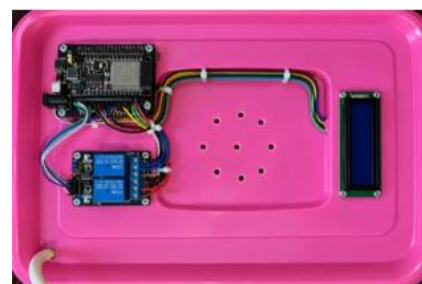
lampu pemanas, kipas, dan LCD. Data suhu dan kelembaban dikirim melalui protokol MQTT menggunakan broker HiveMQ Cloud dan selanjutnya ditampilkan pada aplikasi Flutter. Pada bagian ini ditampilkan bentuk bejana, susunan komponen, prototipe sistem, serta antarmuka monitoring dan pengaturan.

1. Bejana Fermentasi Tape Ketan: Tampak Luar, Dalam, dan Atas

Bagian ini menjelaskan bentuk bejana yang digunakan sebagai tempat fermentasi tape ketan. Tampak luar menunjukkan bentuk bejana secara keseluruhan, tampak dalam menunjukkan bagian dalam tempat proses fermentasi, sedangkan tampak atas menunjukkan susunan komponen yang dipasang pada bejana, seperti ESP32, relay, LCD, sensor, kipas, dan lampu. Ketiga tampilan tersebut menunjukkan bentuk fisik bejana dan integrasi komponen sistem. Tampilan tempat fermentasi tape ketan dari tampak luar, tampak dalam, dan tampak atas ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



Gbr. 3 Tempat Fermentasi Tape Ketan Tampak Luar



Gbr. 4 Tempat Fermentasi Tape Ketan Tampak Atas



Gbr. 5 Tempat Fermentasi Tape Ketan Tampak Dalam

2. Prototipe Ruang Fermentasi Tape Ketan Berbasis IoT

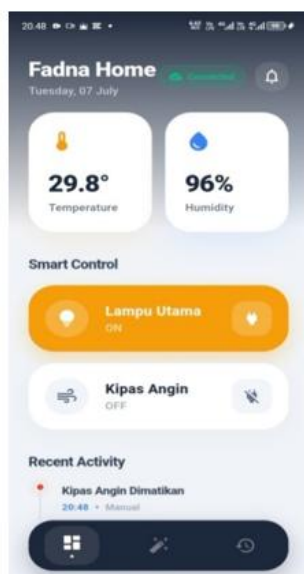
Prototipe ruang fermentasi tape ketan merupakan wadah yang telah diintegrasikan dengan komponen sistem monitoring dan pengaturan suhu berbasis IoT. Komponen utama yang digunakan terdiri atas sensor DHT22, ESP32, LCD, modul relay, lampu pemanas, dan kipas. Sensor DHT22 digunakan untuk memperoleh data suhu dan kelembaban, sedangkan lampu pemanas dan kipas digunakan sebagai aktuator pengaturan suhu berdasarkan kondisi yang telah ditentukan. Bentuk fisik prototipe ruang fermentasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gbr. 6 Tampilan Prototipe Ruang Fermentasi Tape Ketan Berbasis IoT

3. Dashboard Aplikasi dan HiveMQ Cloud

Implementasi aplikasi monitoring dan pengaturan menunjukkan bahwa pengguna dapat memantau kondisi ruang fermentasi serta memberikan perintah kepada perangkat melalui aplikasi Flutter. Aplikasi menampilkan suhu, kelembaban, dan status aktuator secara real-time. Selain fungsi pemantauan, aplikasi menyediakan Smart Automation untuk menjalankan pengaturan berdasarkan ambang suhu yang telah ditentukan. Tampilan Smart Control, Smart Automation, dan histori sensor ditunjukkan pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.



Gbr. 7 Smart Control

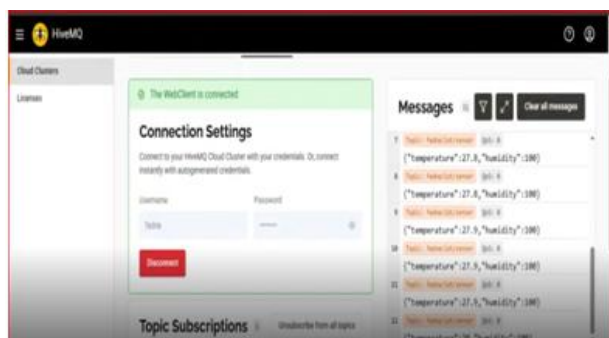


Gbr. 8 Smart Automation



Gbr. 9 Histori Sensor

Gambar 10 menunjukkan hasil pemantauan komunikasi MQTT menggunakan HiveMQ WebClient. Status *connected* menunjukkan bahwa klien berhasil terhubung ke broker, sedangkan bagian *Messages* menampilkan data yang diterima dari *topic* MQTT. Data yang ditampilkan berupa nilai suhu dan kelembaban yang dikirim oleh ESP32 dalam format data terstruktur. Hasil ini menunjukkan bahwa data sensor dapat dikirimkan melalui protokol MQTT dan diterima oleh broker sehingga dapat digunakan sebagai jalur komunikasi antara perangkat ESP32 dan aplikasi monitoring.



Gbr. 10 Tampilan HiveMQ WebClient pada Komunikasi MQTT

B. Pengujian Akurasi Sensor Suhu dan Kelembaban

Pada bagian ini dilakukan pengujian sensor DHT22 dengan membandingkan hasil pembacaan suhu dan kelembaban dengan alat ukur standar pada kondisi dan waktu yang sama. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui nilai *error*. Semakin kecil nilai *error*, maka hasil pembacaan sensor DHT22 semakin mendekati alat ukur standar. Data hasil pengujian sensor suhu dan kelembaban ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL I
Pengujian Akurasi Sensor Suhu

No.	Suhu DHT22 (°C)	Suhu Alat Standar (°C)	Error Suhu (%)	Kelembaban DHT22 (%)	Kelembaban Alat Standar (%)	Error Kelembaban (%)
1	31,2	31	0,65	99,9	98	1,94
2	31,7	31,5	0,63	99,4	98	1,43
3	31,9	31,7	0,63	98,7	97	1,75
4	32,4	32,1	0,93	97,3	96	1,35
5	32	31,8	0,63	98,5	97	1,55
6	31,6	31,4	0,64	100	98	2,04
7	30,8	30,6	0,65	99,9	98	1,94
8	30,7	30,5	0,66	100	98	2,04
9	30	29,8	0,67	100	98	2,04
10	29,7	29,5	0,68	100	98	2,04
11	30	29,9	0,33	100	98	2,04
12	26	25,8	0,78	86,1	85	1,29
13	29,5	29,3	0,68	100	98	2,04
14	29,9	29,7	0,67	98,3	97	1,34
Rata-rata	30,39	30,21	0,65	97,01	96,14	1,75

$$\text{error suhu (\%)} = \frac{(\text{Suhu DHT22} - \text{Suhu standar})}{\text{Suhu standar}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{error kelembaban} = \frac{(\text{Kelembaban DHT22} - \text{kelembaban standar})}{\text{Kelembaban standar}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{error} = \frac{31,2 - 31,0}{31,0} \times 100\% = 0,65\%$$

$$\text{error} = \frac{99,9 - 98,0}{98,0} \times 100\% = 1,94\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sensor DHT22 dibandingkan dengan alat ukur standar pada kondisi dan waktu yang sama untuk mengetahui nilai *error*. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata suhu yang terbaca oleh DHT22 sebesar 30,39°C, sedangkan alat ukur standar sebesar 30,21°C dengan rata-rata *error*

sebesar 0,65%. Pada pengukuran kelembaban, DHT22 menghasilkan rata-rata sebesar 97,01% RH, sedangkan alat ukur standar sebesar 96,14% RH dengan rata-rata *error* sebesar 1,75%. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan pembacaan antara sensor DHT22 dan alat ukur standar yang digunakan sebagai pembandingan.

C. Pengujian Kontrol pemanas dan kipas

Pada bagian ini dilakukan pengujian pada rangkaian sistem kontrol suhu ruang fermentasi untuk mengetahui apakah lampu dan kipas dapat bekerja sesuai dengan kondisi suhu yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa kondisi suhu yang berbeda, kemudian dilihat bagaimana sistem memberikan respons terhadap kondisi tersebut. Respons yang diamati meliputi perintah sistem serta kondisi lampu dan kipas sebagai alat untuk mengatur suhu. Hasil pengujian sistem kontrol pemanas dan kipas dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL II
Pengujian Kontrol Pemanas dan Kipas

No	Kondisi Suhu	Perintah	Lampu	Kipas	Hasil
1	> 30,5°C (31,2°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
2	> 30,5°C (31,7°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
3	> 30,5°C (31,9°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
4	> 30,5°C (32,4°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
5	> 30,5°C (32,0°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
6	> 30,5°C (31,6°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
7	> 30,5°C (30,8°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
8	> 30,5°C (30,7°C)	Pendinginan	Off	On	Berhasil
9	29,5–30,5°C (30,0°C)	Stabil	Off	Off	Berhasil
10	29,5–30,5°C (29,7°C)	Stabil	Off	Off	Berhasil
11	29,5–30,5°C (30,0°C)	Stabil	Off	Off	Berhasil
12	< 29,5°C (26,0°C)	Pemanasan	On	Off	Berhasil
13	29,5–30,5°C (29,5°C)	Stabil	Off	Off	Berhasil
14	29,5–30,5°C (29,9°C)	Stabil	Off	Off	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sistem kontrol suhu diuji untuk melihat respons lampu dan kipas terhadap perubahan suhu. Sistem menggunakan tiga kondisi, yaitu suhu >30,5°C untuk menyalakan kipas dan mematikan lampu, suhu 29,5–30,5°C untuk mematikan kedua aktuator, dan suhu <29,5°C untuk menyalakan

lampu serta mematikan kipas. Seluruh percobaan menunjukkan hasil berhasil, sehingga sistem mampu mengontrol lampu dan kipas sesuai kondisi suhu yang ditentukan.

D. Pengujian Respons Perintah Kontrol MQTT

Pengujian respons perintah kontrol MQTT dilakukan untuk melihat apakah sistem dapat menerima dan menjalankan perintah yang dikirim melalui MQTT dengan baik. Perintah dikirim ke ESP32, kemudian ESP32 memproses perintah tersebut untuk mengatur lampu dan kipas sesuai dengan perintah yang diterima. Pengujian dilakukan dengan melihat apakah perintah berhasil dikirim, diterima oleh ESP32, dan dapat menjalankan lampu atau kipas sesuai perintah. Hasil pengujian respons perintah kontrol MQTT dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL III
Pengujian Respons Perintah Kontrol MQTT

No	Perintah	Dikirim	Diterima ESP32	Aktuator	Status
1	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
2	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
3	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
4	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
5	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
6	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
7	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
8	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
9	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
10	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
11	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
12	Fan_Off / Heater_On	Ya	Ya	Fan Off, Lampu On	Berhasil
13	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil
14	Fan On	Ya	Ya	On	Berhasil

Pada Tabel 3, pengujian dilakukan untuk mengetahui keberhasilan sistem dalam menerima dan menjalankan perintah MQTT dari aplikasi ke ESP32 untuk mengendalikan aktuator. Pengujian dilakukan sebanyak 14 kali percobaan dengan mengamati apakah perintah berhasil diterima dan dijalankan oleh ESP32.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh perintah berhasil diterima dan dijalankan sesuai kondisi yang ditentukan. Perintah Fan_On berhasil mengaktifkan kipas, sedangkan perintah Fan_Off/Heater_On berhasil mematikan kipas dan mengaktifkan lampu. Dengan demikian, 14 dari 14 perintah berhasil dijalankan sehingga tingkat keberhasilan pada skenario pengujian yang dilakukan mencapai 100%.

E. Pengujian Kondisi Suhu Ruang Fermentasi

Pengujian kondisi suhu ruang fermentasi dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu selama proses berlangsung dan membandingkannya dengan rentang acuan 25–30°C. Data suhu dianalisis berdasarkan nilai minimum, maksimum, rata-rata, serta proporsi

pengamatan yang berada di dalam dan di luar rentang acuan.

TABEL IV
Pengujian Kondisi Suhu Ruang Fermentasi

No	Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Status Kipas	Status Lampu
1	11:00:00	31,2	99,9	On	Off
2	12:00:00	31,7	99,4	On	Off
3	13:00:00	31,9	98,7	On	Off
4	14:00:00	32,4	97,3	On	Off
5	15:00:00	32,0	98,5	On	Off
6	16:00:00	31,6	100,0	On	Off
7	17:00:00	30,8	99,9	On	Off
8	18:00:00	30,7	100,0	On	Off
9	19:00:00	30,0	100,0	On	Off
10	20:00:00	29,7	100,0	On	Off
11	21:00:00	30,0	100,0	On	Off
12	22:00:00	26,0	86,1	Of	On
13	23:00:00	29,5	100,0	On	Off
14	00:00:00	29,9	98,3	On	Off
Rata-rata		30,39°C	97,01%		

$$\text{Persentase kesesuaian} = \frac{\text{Jumlah titik stabil}}{\text{Jumlah titik pengukur}} \times 100$$

$$= \frac{5}{14} \times 100\% = 35,71$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, sistem mampu melakukan monitoring suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22. Rata-rata suhu sebesar 30,39°C dengan rentang 26,0–32,4°C menunjukkan bahwa kondisi suhu belum sepenuhnya berada dalam acuan 25–30°C. Dari 14 pengamatan, sebanyak 8 pengamatan (57,14%) berada di atas 30°C, sedangkan 6 pengamatan (42,86%) berada dalam rentang 25–30°C. Suhu maksimum 32,4°C menunjukkan bahwa sistem belum sepenuhnya mampu mempertahankan suhu di sekitar setpoint 30°C. Selain itu, terdapat perbedaan antara hasil uji fungsi kontrol pada Tabel 2 dan kondisi aktuator yang tercatat selama pengamatan pada Tabel 4. Pada Tabel 4, kipas tercatat ON pada 13 dari 14 pengamatan, termasuk pada lima pengamatan ketika suhu berada pada rentang 29,5–30,5°C yang secara logika seharusnya menyebabkan kedua aktuator OFF. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun fungsi kontrol dapat bekerja pada pengujian terarah, implementasi kontrol pada kondisi operasional belum sepenuhnya konsisten dan masih memerlukan penyempurnaan.

F. Pengujian Kondisi Kelembaban

Pengujian kondisi kelembaban dilakukan untuk mengetahui kondisi kelembaban relatif ruang fermentasi dan membandingkannya dengan rentang operasional 75–80% RH. Sistem tidak memiliki aktuator khusus untuk mengatur kelembaban, sehingga pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kondisi kelembaban hasil pemantauan, bukan keberhasilan kontrol kelembaban.

Data kelembaban dianalisis berdasarkan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata.

TABEL V
Pemantauan Kelembaban

Waktu	RH (%)	Selisih dari batas atas acuan (80%)	Status
11:00	99,9	19,9	Di atas acuan
12:00	99,4	19,4	Di atas acuan
13:00	98,7	18,7	Di atas acuan
14:00	97,3	17,3	Di atas acuan
15:00	98,5	18,5	Di atas acuan
16:00	100	20,0	Di atas acuan
17:00	99,9	19,9	Di atas acuan
18:00	100	20,0	Di atas acuan
19:00	100	20,0	Di atas acuan
20:00	100	20,0	Di atas acuan
21:00	100	20,0	Di atas acuan
22:00	86,1	6,1	Di atas acuan
23:00	100	20,0	Di atas acuan
00:00	98,3	18,3	Di atas acuan

$$\text{Persentase kesesuaian} = \frac{\text{Jumlah titik stabil}}{\text{Jumlah titik pengukur}} \times 100$$

$$= \frac{5}{14} \times 100\% = 35,71\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5, kelembaban relatif memiliki nilai rata-rata sebesar 97,01% RH dengan rentang 86,1–100% RH. Jika dibandingkan dengan rentang operasional 75–80% RH, seluruh hasil pengukuran berada di atas batas atas acuan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kelembaban ruang fermentasi selama pengujian belum sesuai dengan rentang operasional yang digunakan sebagai acuan. Sistem telah mampu melakukan monitoring kelembaban, tetapi belum memiliki mekanisme pengendalian kelembaban secara otomatis.

Rekapitulasi hasil pengujian dilakukan untuk melihat kinerja sistem secara keseluruhan. Pengujian meliputi akurasi sensor suhu dan kelembaban, fungsi kontrol lampu dan kipas, keberhasilan pengiriman perintah MQTT, kondisi suhu, serta kondisi kelembaban. Data dari setiap pengujian dirangkum dan dibandingkan dengan acuan yang digunakan dalam penelitian.

G. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sistem

Rekapitulasi hasil pengujian sistem digunakan untuk merangkum hasil pengujian sensor, sistem kontrol lampu dan kipas, komunikasi MQTT, serta kondisi suhu dan kelembaban. Rekapitulasi ini digunakan untuk membedakan keberhasilan fungsi sistem pada pengujian terarah dengan kondisi aktual selama pengamatan operasional.

TABEL VI
Pengujian Sistem

No	Jenis Pengujian	Parameter	Hasil Pengujian	Kesimpulan
1	Pemantauan suhu	Suhu rata-rata	30,39°C	Melebihi batas optimal
2	Pemantauan kelembaban	Kelembaban rata-rata	97,01% RH	Belum sesuai acuan
3	Suhu maksimum	Nilai suhu tertinggi	32,4°C	Melebihi acuan
4	Suhu minimum	Nilai suhu terendah	26,0°C	Sesuai acuan
5	Kelembaban maksimum	Nilai kelembaban tertinggi	100%	Belum sesuai acuan
6	Kelembaban minimum	Nilai kelembaban terendah	86,10%	Belum sesuai acuan
7	Kontrol kipas	Kondisi ON/OFF	ON pada 13 dari 14 pengamatan	Belum sepenuhnya sesuai logika kontrol
8	Kontrol lampu	Kondisi ON/OFF	ON pada 1 dari 14 pengamatan	Sesuai pada kondisi suhu <29,5°C
9	Kondisi suhu	Rentang perubahan suhu	26,0–32,4°C	Belum sepenuhnya sesuai acuan
10	Kondisi kelembaban	Rentang perubahan RH	86,1–100% RH	Belum sesuai acuan

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis sistem, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring suhu dan kelembaban serta pengaturan suhu ruang fermentasi tape ketan berbasis IoT berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32, sensor DHT22, MQTT HiveMQ Cloud, dan aplikasi Flutter. Sistem mampu melakukan pemantauan suhu dan kelembaban serta menjalankan fungsi pengaturan suhu menggunakan lampu pemanas dan kipas, baik melalui logika otomatis maupun perintah manual dari aplikasi. Hasil pengujian sensor terhadap alat ukur standar menunjukkan rata-rata error sebesar 0,65% untuk suhu dan 1,75% untuk kelembaban. Pengujian fungsi kontrol terarah menunjukkan bahwa lampu dan kipas dapat merespons kondisi suhu sesuai logika yang ditentukan. Namun, pada pengamatan operasional, kipas tercatat ON pada 13 dari 14 pengamatan, termasuk pada lima titik ketika suhu berada pada rentang 29,5–30,5°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa implementasi kontrol aktual belum sepenuhnya konsisten dengan logika pengendalian yang dirancang. Kondisi suhu memiliki rata-rata 30,39°C dengan rentang 26,0–32,4°C; sebanyak 57,14% pengamatan berada di atas 30°C sehingga sistem belum sepenuhnya mampu mempertahankan suhu di sekitar setpoint 30°C. Kelembaban rata-rata sebesar 97,01% RH dengan rentang 86,1–100% RH berada di atas rentang operasional 75–80% RH, sehingga kondisi kelembaban selama pengujian belum sesuai dengan acuan. Sistem

hanya melakukan monitoring kelembaban dan belum memiliki mekanisme pengendalian kelembaban otomatis. Pengujian respons perintah MQTT menunjukkan bahwa 14 dari 14 perintah berhasil diterima dan dijalankan oleh ESP32, sehingga tingkat keberhasilan pada skenario pengujian yang dilakukan mencapai 100%. Setelah dua hari, tape ketan menunjukkan tekstur lebih lunak, aroma khas fermentasi, dan terbentuk cairan hasil fermentasi.

REFERENSI

- [1] Kusumah, R., Islam, H. I., & Sobur, S. (2023). Sistem Monitoring Suhu dan KELEMBABAN BERBASIS INTERNET of Things (IoT) pada Ruang Data Center. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 7(1), 88-94.
- [2] Handy, M. V., & Pardede, M. (2022). Implementasi Protokol MQTT dan Nodered untuk Pemantauan Suhu dan Kelembapan Ruang Kelas Berbasis IoT. *Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi*, 2(2), 14-28. Retrieved from <https://ojs.polmed.ac.id/index.php/TRekRiTel/article/view/1751>.
- [3] Sani, S. P., Lifwarda, L., Dahlan, A. A., & Yulindon, Y. (2022). Perancangan Sistem untuk Monitoring Suhu dan Kadar Alkohol pada Fermentasi Tape Ketan Berbasis IoT. *Edu ElektriKA Journal*, 11(2), 46-51.
- [4] Silallagan, T. F., Firmansyah, M., & Jaja. (2023). Machine Learning Alat Monitoring Fermentasi Tape Berbasis IoT menggunakan Metode Algoritma C4.5 pada Platform Thingspeak. *Global*, 10(1), 68-74.
- [5] Sediarto, S., Masdianto, M., & Rohmatulloh, W. (2020). Penetapan kadar etanol pada tape ketan putih yang telah difermentasi pada hari ke 4, 5, dan 6. *Anakes: Jurnal Ilmiah Analis Kesehatan*, 6(1), 22-26.
- [6] Safitria, R. D., Purnama, S. W., Ramadhani, N., & Habisukan, U. H. (2023). Pengaruh Penggunaan Daun Pandan dan Daun Pisang terhadap Lama Masa Simpan Tape Ketan. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi (Journal of Food Technology and Nutrition)*, 22(2), 107-112.
- [7] Amran, A., & Abbassyakhrin, A. (2025). Pengaruh Konsentrasi Ragi Terhadap Kualitas Tape Beras Ketan (*Oryza sativa glutinosa* L.). *JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan*, 4(2), 103-106.
- [8] Wibowo, B. C., & Ridwan, A. S. (2025). Temperature and Humidity Control of The Fermentation Room for Optimization of Cassava Fermentation Process. *Jurnal Rekayasa ElektriKA*, 21(4). 209-218,
- [9] Indrawati, I., Nevrisa, A., Amalia, I., & Radhiyatammardhiyyah, R. (2026, March). Integrasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT dengan Cloud Berbasis Aplikasi Android. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 9, No. 1, pp. 180-186).
- [10] Nursiwi, A. N. B. S., N BS, S., & Rahayu, E. S. (2018). Development of The Traditional Tape Ketan Into Probiotic Drink with The Supplementation of Lactic Acid Bacteria. *Indonesian Food and Nutrition Progress*, 15(1), 11-20.
- [11] Ramadhani, Fitri. (2017). *Perancangan dan Pembuatan Alat Pengatur Suhu dan Kelembaban Fermentasi Tempe dan Tape Berbasis Mikrokontroler ATmega16*. Diploma/Proyek Akhir, Universitas Negeri Padang.