

Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan Fuzzy Logic untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe

Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan *Fuzzy Logic* untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe

Shabrina Putri Maghfira

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya
email : shabrina.21057@mhs.unesa.ac.id

Bambang Suprianto, Lusia Rakhmawati, Rifqi Firmansyah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya
email : bambangsuprianto@unesa.ac.id, lusiarakhmawati@unesa.ac.id, rifqifirmansyah@unesa.ac.id

Abstrak

Tempe adalah makanan tradisional Indonesia bergizi tinggi yang diproduksi melalui fermentasi kedelai menggunakan jamur *Rhizopus*. Proses fermentasi konvensional masih bergantung pada suhu dan kelembapan lingkungan yang tidak stabil, sehingga memengaruhi kualitas dan konsistensi produksi. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkan sistem inkubator cerdas berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mengontrol suhu dan kelembapan secara otomatis menggunakan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, logika *fuzzy*, dan aplikasi *Blynk* untuk pemantauan *real-time*. Sistem ini dirancang menjaga suhu 30°C–35°C dan kelembapan 60%–80%, sesuai kondisi optimal fermentasi. Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dengan melakukan perancangan dan pengujian langsung dalam kondisi terkontrol untuk mengamati pengaruh suhu dan kelembapan terhadap kualitas tempe. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menjaga kestabilan lingkungan dan menghasilkan tempe dengan tekstur dan kepadatan yang baik, sehingga mendukung efisiensi serta konsistensi produksi bagi produsen tempe skala kecil hingga menengah. Inovasi ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis dan terjangkau untuk meningkatkan kualitas industri tempe lokal.

Kata Kunci: Fermentasi tempe, suhu, kelembapan, ESP32, IoT, logika fuzzy

Abstract

Tempeh is a highly nutritious traditional Indonesian food produced through soybean fermentation using Rhizopus fungi. The conventional fermentation process still relies on unstable environmental temperature and humidity, which affects the quality and consistency of production. To overcome this, an Internet of Things (IoT)-based smart incubator system was developed that automatically controls temperature and humidity using a DHT22 sensor, ESP32 microcontroller, fuzzy logic, and Blynk application for real-time monitoring. This system is designed to maintain a temperature of 30°C–35°C and humidity of 60%–80%, according to optimal fermentation conditions. This study uses a design-build method by conducting direct design and testing under controlled conditions to observe the effect of temperature and humidity on tempeh quality. The test results show that the system is able to maintain environmental stability and produce tempeh with good texture and density, thus supporting production efficiency and consistency for small to medium-scale tempeh producers. This innovation is expected to be a practical and affordable solution to improve the quality of the local tempeh industry.

Keywords: Tempeh fermentation, temperature, humidity, ESP32, IoT, fuzzy logic

PENDAHULUAN

Salah satu makanan tradisional khas Indonesia yang memiliki kandungan gizi tinggi adalah tempe. Makanan ini dibuat melalui proses fermentasi kedelai. Fermentasi sendiri adalah proses pembentukan energi dalam sel yang berlangsung tanpa oksigen. Dalam proses ini, senyawa organik mengalami perubahan biokimia melalui bantuan

enzim-enzim tertentu yang berperan dalam menguraikan karbohidrat menjadi senyawa lain. Pada perancangan alat ini, dibutuhkan ragi tempe yang mengandung mikroorganisme esensial guna mendukung proses fermentasi tempe (Rokhan Bukhari, 2022). Ragi tempe sendiri berasal dari kapang fermentatif dari jamur *Rhizopus Oryzae*. Tempe yang berkualitas baik memiliki tampilan yang padat, dengan biji

kedelai yang terikat erat oleh miselium kapang, sehingga saat dipotong, akan terlihat irisan kedelai yang tetap menyatu dan tempennya berwarna putih (Rahayu et al., 2015).

Industri pengolahan kedelai berkembang pesat di Indonesia karena tingginya konsumsi tempe di masyarakat. Selain itu, proses pembuatan tempe relatif murah dan bahan bakunya, yakni kedelai, mudah diperoleh. Meski demikian, produksi tempe kerap menghadapi tantangan, salah satunya adalah ketidakstabilan kondisi cuaca. Perubahan iklim yang terjadi secara tiba-tiba dapat mengganggu jalannya proses fermentasi, yang berpengaruh terhadap kualitas hasil akhir tempe (Pramono, 2023). Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan sistem kontrol otomatis untuk suhu dan kelembapan pada ruang fermentasi. Kondisi lingkungan yang stabil sangat penting, karena fermentasi dilakukan pada suhu optimal berkisar antara 30-35°C (Hidayah et al., 2020), dengan tingkat kelembapan sekitar 60%-80% (Rusdianto et al., 2022). Tempe dengan kualitas baik umumnya memiliki permukaan yang tertutup rapat oleh lapisan serat jamur berwarna putih bersih dan tersebar merata. Kedelai pada tempe tersebut terikat kuat oleh jaringan jamur, sehingga menghasilkan tekstur yang padat dan kokoh.

Melalui penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)*, yang memanfaatkan koneksi internet secara terus-menerus untuk menghubungkan dan mengendalikan perangkat secara *real-time* (Hidayat, 2021), terdapat peluang besar untuk meningkatkan proses fermentasi tempe. Sistem kontrol otomatis yang memantau suhu dan kelembapan secara *real-time* ini dapat meningkatkan efisiensi produksi serta mengurangi kebutuhan akan pemantauan manual yang kerap menyita waktu dan rawan kesalahan. Dengan teknologi ini, produsen dapat secara langsung mengelola kondisi fermentasi, memastikan lingkungan tetap berada dalam parameter optimal yang telah ditentukan, sehingga menghasilkan tempe dengan kualitas lebih konsisten dan mampu bersaing di pasar.

Salah satu komponen utama dalam sistem ini adalah sensor suhu dan kelembapan DHT22, yang memiliki tingkat akurasi tinggi dalam mengukur kondisi lingkungan fermentasi. Data dari sensor ini kemudian diolah oleh mikrokontroler NodeMCU ESP32, yang berfungsi sebagai unit pengendali utama. ESP32 memungkinkan pemantauan suhu dan kelembapan secara waktu nyata, sekaligus menjalankan logika pengendalian berbasis *Fuzzy Logic*. Penerapan metode ini memungkinkan sistem untuk menganalisis perubahan kondisi secara cerdas dan menyesuaikan pengaturan suhu dan kelembapan secara otomatis dan presisi. Proses otomatisasi ini tidak hanya menjaga kestabilan fermentasi, tetapi juga meminimalkan

potensi kesalahan akibat pengaturan manual yang dapat berdampak pada mutu akhir tempe.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem kendali suhu dan kelembapan berbasis *Internet of Things (IoT)* guna meningkatkan efisiensi serta mutu dalam proses produksi tempe. Sistem ini memungkinkan produsen untuk memantau kondisi suhu dan kelembapan di ruang fermentasi secara langsung (*real-time*), sehingga mempermudah pengendalian lingkungan yang kerap berubah-ubah. Melalui fitur pemantauan jarak jauh, produsen dapat dengan cepat mendeteksi dan merespons perubahan kondisi fermentasi. Hal ini sangat penting untuk memastikan suhu dan kelembapan tetap berada dalam kisaran optimal demi menghasilkan tempe berkualitas tinggi. Penggunaan metode *Fuzzy Logic* dalam pengaturan suhu dan kelembapan turut berkontribusi dalam menjaga kestabilan lingkungan, sehingga mutu tempe yang dihasilkan tetap terjaga dan memenuhi standar pasar. Dengan pendekatan ini, produsen dapat secara lebih efisien mempertahankan kualitas produk dan meningkatkan daya saing di pasar.

METODE

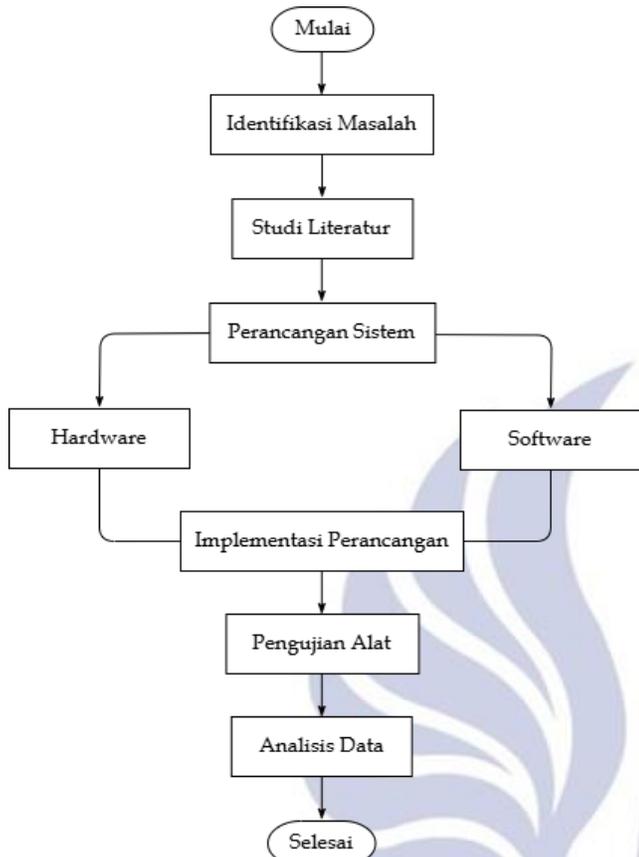
Penelitian ini menerapkan pendekatan rancang bangun sistem dengan melakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian langsung dalam lingkungan yang dikendalikan untuk mengetahui pengaruh variabel suhu dan kelembapan terhadap kestabilan dan efektivitas proses fermentasi tempe. Fokus utama dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan suhu dan kelembapan berbasis *Internet of Things (IoT)* pada ruang inkubator buatan yang disimulasikan dalam laboratorium. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan sensor DHT22 sebagai unit utama untuk mendeteksi kondisi lingkungan dalam inkubator. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif, yaitu dengan membandingkan data hasil pembacaan suhu dan kelembapan yang diperoleh dari sistem dengan rentang optimal yang dibutuhkan dalam proses fermentasi tempe. Data yang dikumpulkan selama pengujian juga dimanfaatkan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem kendali otomatis mampu menjaga parameter lingkungan tetap berada dalam batas yang telah ditentukan.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada Gambar 1 menjelaskan tahapan penelitian secara sistematis, dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem *hardware* dan *software*, implementasi hasil perancangan, pengujian alat, hingga menganalisis data hasil pengujian secara menyeluruh untuk menarik kesimpulan yang valid dan mendukung tujuan penelitian. Setiap tahapan disusun untuk memastikan bahwa

Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan Fuzzy Logic untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe

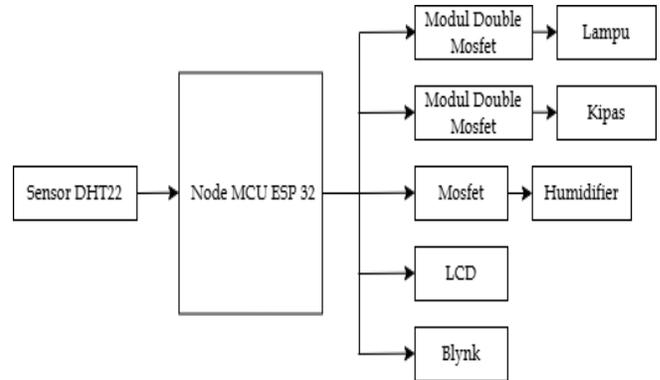
sistem yang dikembangkan mampu merespons permasalahan yang telah diidentifikasi dalam pencapaian tujuan penelitian.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Diagram Rancangan

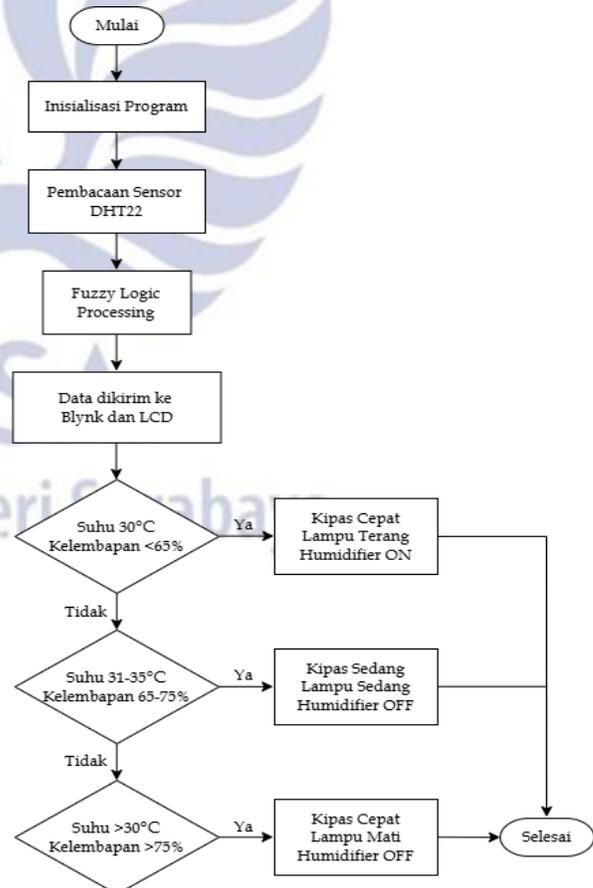
Pada Gambar 2 ditunjukkan sistem pengendalian suhu dan kelembapan berbasis mikrokontroler yang dirancang untuk mendukung dan mengoptimalkan proses fermentasi tempe secara otomatis. Proses dimulai dengan sensor DHT22 yang secara kontinu membaca nilai suhu dan kelembapan di dalam inkubator. Data yang diperoleh kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32, yang memprosesnya menggunakan algoritma *logika fuzzy* untuk menentukan respons pengendalian yang paling sesuai berdasarkan kondisi lingkungan saat itu. Berdasarkan hasil perhitungan *fuzzy*, mikrokontroler mengatur intensitas kerja lampu pijar sebagai pemanas, kipas sebagai pendingin dan sirkulator udara, serta *humidifier* sebagai pengatur kelembapan melalui modul MOSFET yang berfungsi sebagai saklar elektronik. Informasi mengenai suhu, kelembapan, dan status aktif dari setiap aktuatur ditampilkan secara lokal melalui LCD 16x2 dan juga dikirim secara *real-time* ke platform *Blynk*, sehingga memungkinkan pemantauan dan pengawasan dari jarak jauh menggunakan perangkat seluler.



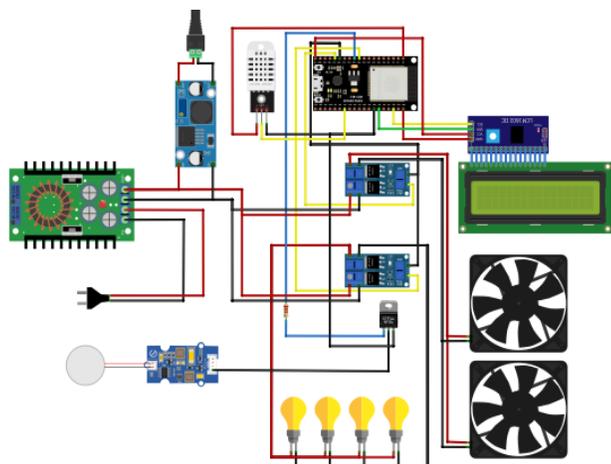
Gambar 2 Diagram Rancangan Hardware

Analisis dan Perancangan Sistem

Pada Gambar 3 merupakan *flowchart* rancangan *software*. Proses dimulai dengan menyiapkan program. Sistem membaca suhu dan kelembapan dari sensor DHT22. Data ini diproses dengan *logika fuzzy*. Hasilnya dikirim ke *Blynk* dan ditampilkan di LCD. Gambar 4 merupakan skema perancangan sistem, data yang diperoleh dari sensor akan dikirim ke NodeMCU ESP32 sebagai pusat kendali. Berdasarkan pemrosesan *logika fuzzy*, ESP32 mengatur kipas, lampu, dan *humidifier*.



Gambar 3 Flowchart Rancangan Software



Gambar 4 Skema Perancangan Sistem

Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat dalam menjaga suhu dan kelembapan sesuai dengan nilai yang ditetapkan. Salah satu aspek pengujian melibatkan perhitungan persentase kesalahan antara data hasil pengukuran sistem dengan data acuan.

Persentase kesalahan tersebut dihitung menggunakan persamaan (1):

$$\text{Error} = \frac{\sum \text{selisih data}}{\text{nilai data primer}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Selain itu, pengujian juga dilakukan pada sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang digunakan untuk mengatur aktuator seperti kipas dan lampu. *Duty cycle* PWM merupakan persentase waktu ketika sinyal berada dalam kondisi aktif (ON) dalam satu siklus. *Duty cycle* dihitung menggunakan persamaan (2):

$$\text{Duty Cycle} = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{on}} + T_{\text{off}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan

- T_{on} =Waktu tegangan output dalam posisi *on*
- T_{off} =Waktu tegangan output dalam posisi *off*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian, sistem kontrol suhu dan kelembapan berbasis IoT dengan penerapan *logika fuzzy* pada proses pengolahan tempe telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Sistem ini mampu melakukan *monitoring* dan pengendalian suhu serta kelembapan secara *real-time*. Untuk mendukung analisis tersebut, Tabel 1 dan 2 hasil pengujian lampu dan pengujian kipas. Data ini memberikan gambaran mengenai efektivitas kinerja sistem serta mengungkapkan sejumlah aspek teknis yang masih memerlukan perbaikan

Tabel 1 Hasil Pengujian Lampu

Suhu	Kelembapan	Kondisi Lampu
30	<65	<i>PWM_HIGH</i> = 255
30	65-75	<i>PWM_HIGH</i> = 255
30	>75	<i>PWM_HIGH</i> = 255
31-35	<65	<i>PWM_MED</i> = 170
31-35	65-75	<i>PWM_MED</i> = 170
31-35	>75	<i>PWM_MED</i> = 170
>35	Semua nilai	<i>PWM_OFF</i> = 0

Pada pengujian kerja lampu pemanas, didapatkan bahwa nilai *PWM* 255 (100% *duty cycle*) digunakan ketika suhu terdeteksi rendah, yaitu sekitar 30°C, untuk memberikan pemanasan maksimal agar suhu cepat mencapai kondisi optimal fermentasi. Nilai *PWM* 170 digunakan saat suhu berada dalam kisaran sedang, yaitu 31°C hingga 35°C, untuk memberikan pemanasan moderat yang menjaga kestabilan suhu tanpa menyebabkan kenaikan berlebihan. Sementara itu, saat suhu melebihi 35°C, sistem memberikan nilai *PWM* 0, yang berarti lampu dimatikan sepenuhnya untuk mencegah pemanasan berlebihan yang dapat mengganggu proses fermentasi tempe. Pengaturan ini dilakukan secara otomatis berdasarkan hasil pengolahan data sensor oleh logika *fuzzy*.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kipas

Suhu	Kelembapan	Kondisi Kipas
30	<65	<i>PWM_HIGH</i> = 255
30	65-75	<i>PWM_OFF</i> = 0
30	>75	<i>PWM_MED</i> = 170
31-35	<65	<i>PWM_OFF</i> = 0
31-35	65-75	<i>PWM_MED</i> = 170
31-35	>75	<i>PWM_HIGH</i> = 255
>35	Semua nilai	<i>PWM_HIGH</i> = 255

Pengaturan *PWM* pada kipas menunjukkan bahwa sistem bekerja responsif terhadap kombinasi suhu dan kelembapan. Nilai *PWM* 255 diaktifkan saat suhu tinggi, yaitu di atas 35°C atau ketika suhu 30°C disertai kelembapan rendah di bawah 65%, dengan tujuan mempercepat pembuangan panas dan menjaga lingkungan tetap sejuk. Nilai *PWM* 170 (sekitar 66%) digunakan saat suhu berada pada kisaran 31–35°C atau saat kelembapan tinggi di atas 75%, untuk menjaga sirkulasi udara tetap berjalan dan mencegah penumpukan uap air. Sedangkan *PWM* 0 (0%) menandakan kipas dalam kondisi mati karena suhu dan kelembapan masih dalam batas aman, sehingga tidak diperlukan pendinginan tambahan.

Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan Fuzzy Logic untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe

Tabel 3 Hasil Pengujian Humidifier

Suhu	Kelembapan	Kondisi
30-35	<65	ON
30-35	65-75	OFF
30-35	>75	OFF

Pada Tabel 3 *Humidifier* bekerja dalam dua kondisi: *ON* saat kelembapan <65% untuk menaikkan kelembapan, dan *OFF* saat kelembapan \geq 65% karena sudah cukup lembap. Ini menjaga kelembapan ideal selama fermentasi tempe.

Tabel 4 Hasil Perbandingan Sensor dan Termometer

No.	Pembacaan Suhu	Pembacaan Suhu	Error
	Termometer Digital (°C)	Sensor DHT22 (°C)	
1.	32.6	32.5	0.1
2.	33.1	32.8	0.3
3.	33.6	33.2	0.4
4.	33.8	33.4	0.4
5.	34.6	33.9	0.7
6.	34.8	34.1	0.7
7.	34.9	34.5	0.4
8.	35.4	34.8	0.6
9.	35.5	35.3	0.2
10.	36.0	35.8	0.2
Rata-Rata Error			4.1

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4, perbandingan antara pembacaan suhu sensor DHT22 dan termometer digital menunjukkan bahwa rata-rata *error* berada pada kisaran 1,19%. Nilai tersebut masih dalam batas toleransi pengukuran, sehingga sensor DHT22 dianggap cukup akurat dan layak dimanfaatkan sebagai bagian dari sistem *monitoring* suhu pada proses fermentasi tempe.

Tabel 5 FAM Inferensi Input dan Output Sistem

Suhu	Kelembapan	Output (Lampu, Kipas, Humidifier)
Dingin	Kering	Tinggi, Cepat, On
Dingin	Normal	Tinggi, Lambat, Off
Dingin	Basah	Tinggi, Sedang, Off
Normal	Kering	Sedang, Lambat, On
Normal	Normal	Sedang, Sedang, Off
Normal	Basah	Sedang, Cepat, Off
Panas	Kering	Rendah, Cepat, On
Panas	Normal	Rendah, Cepat, Off
Panas	Basah	Rendah, Cepat, Off

Metode *fuzzy Mamdani* memiliki peran penting dalam sistem ini karena digunakan untuk mengendalikan kerja *aktuator*. Melalui *logika fuzzy*, sistem dapat mengambil keputusan secara fleksibel dan menyerupai pola pikir manusia, sehingga mampu merespons perubahan lingkungan

dengan lebih adaptif. Proses pengambilan keputusan ini melibatkan tiga tahapan utama, yaitu *fuzzifikasi*, komposisi aturan, dan *defuzzifikasi*.

Sebagai bagian dari proses tersebut, Tabel 5 menyajikan representasi *logika fuzzy* dalam bentuk *Fuzzy Associative Map* (FAM), yang memetakan hubungan antara *input* (suhu dan kelembapan) dan *output* (kendali lampu, kipas, dan *humidifier*) melalui aturan-aturan *IF-THEN*. Setiap aturan dalam tabel mencerminkan respon sistem terhadap kondisi tertentu, sehingga memudahkan pengambilan keputusan otomatis berdasarkan nilai *fuzzy* yang telah ditentukan.

Perbandingan Fermentasi Menggunakan Alat dan Manual

Penelitian ini melakukan perbandingan antara proses fermentasi tempe menggunakan alat dengan sistem kontrol otomatis dan metode konvensional tanpa alat. Pada fermentasi konvensional, proses memakan waktu hingga 48 jam karena tidak adanya pengaturan otomatis suhu dan kelembapan. Sementara itu, penggunaan alat dengan *kontroler* mampu mempercepat fermentasi menjadi hanya 24 jam karena kondisi lingkungan dijaga tetap optimal.

Pengujian ke-1 terkait perancangan sistem kontrol suhu dan kelembapan berbasis *IoT* dengan *logika fuzzy* untuk optimasi fermentasi tempe dilakukan selama 24 jam, dimulai pukul 12.20 hingga 12.20 keesokan harinya. Pada tahap ini, proses fermentasi menggunakan kedelai lokal varietas Anjasmoro. Sebagai *starter*, digunakan ragi sebanyak satu sendok makan. Hasil akhir fermentasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil Fermentasi Pengujian ke-1

Pengujian ke-2 dilaksanakan selama 24 jam, dimulai pada pukul 08.00 hingga 08.00 keesokan harinya, dengan menggunakan kedelai lokal varietas Grobogan. Varietas ini dipilih karena karakteristiknya yang dinilai mendukung efisiensi proses fermentasi dan kualitas tempe yang dihasilkan. Pada proses ini, ragi digunakan sebanyak 1,5 sendok makan sebagai starter. Hasil fermentasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil Fermentasi Pengujian ke-2

Dalam pengujian sistem pengendalian suhu dan kelembapan berbasis *logika fuzzy* untuk fermentasi tempe, sensor mendeteksi suhu ruangan sebesar 33°C dan kelembapan relatif sebesar 70,4%. Berdasarkan parameter tersebut, sistem secara otomatis mengaktifkan kipas dan lampu pada tingkat *PWM* sedang (*PWM_MED* = 170). Pengaktifan ini bertujuan menurunkan suhu secara perlahan dan menjaga sirkulasi udara tetap optimal, tanpa menyebabkan fluktuasi suhu yang drastis. Pengaturan ini sangat penting untuk menciptakan kondisi lingkungan yang stabil dan mendukung pertumbuhan jamur *Rhizopus oligosporus*, yang merupakan mikroorganisme utama dalam proses fermentasi tempe.

Di sisi lain, sistem mendeteksi bahwa kelembapan ruangan masih berada dalam batas ideal, yaitu di atas 65%, sehingga *humidifier* tidak diaktifkan (dalam kondisi *OFF*). Hal ini menunjukkan bahwa *logika fuzzy* mampu merespons secara tepat terhadap kondisi lingkungan yang ada dengan menyesuaikan kerja aktuator secara otomatis. Dengan tidak menyalakan *humidifier*, sistem juga mencegah kelembapan berlebih yang dapat menyebabkan pertumbuhan mikroba yang tidak diinginkan. Secara keseluruhan, respons sistem menunjukkan bahwa aturan *fuzzy* yang diterapkan telah berjalan efektif.



Gambar 7 Tampilan Blynk Selama Pengujian

Pada Gambar 7 ditampilkan antarmuka aplikasi *Blynk* yang terintegrasi dengan sistem pengendalian suhu dan kelembapan. Integrasi ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian proses fermentasi secara *real-time* melalui *smartphone*. Aplikasi *Blynk* berfungsi sebagai antarmuka

pengguna yang menampilkan data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22, serta status aktuator seperti kipas, lampu, dan *humidifier*. Selain pemantauan otomatis. Fitur ini memberikan kemudahan dalam menjaga kestabilan lingkungan fermentasi dari jarak jauh.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Sistem *fuzzy* Mamdani yang dirancang dapat mengatur suhu dan kelembapan secara otomatis dengan membaca data dari sensor. Sistem ini bekerja seperti cara manusia mengambil keputusan, sehingga bisa menjaga kondisi fermentasi tempe tetap baik.
2. Sistem pengontrol suhu dan kelembapan yang terhubung dengan *IoT* bisa memantau dan mengatur kondisi ruang fermentasi secara langsung dan dari jarak jauh. Dengan bantuan aplikasi seperti *Blynk*, pengguna bisa melihat dan mengontrol proses fermentasi kapan saja dan di mana saja.
3. Dibandingkan cara manual, sistem otomatis ini membuat suhu dan kelembapan lebih stabil. Hasilnya, proses fermentasi tempe jadi lebih cepat, kualitasnya lebih baik, dan produksi tempe jadi lebih teratur.

Saran

Untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem kontrol pada proses fermentasi tempe, beberapa pengembangan yang dapat dilakukan meliputi peningkatan kualitas aplikasi *smartphone* agar tampilannya lebih *user-friendly* dan mudah dioperasikan, serta mampu menampilkan data suhu dan kelembapan secara lebih akurat dan *real-time*, termasuk grafik pemantauan. Selain itu, penambahan fitur alarm atau notifikasi otomatis juga disarankan, agar pengguna dapat segera diberi peringatan ketika suhu atau kelembapan berada di luar batas optimal, sehingga proses fermentasi tetap berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- M. Rokhan Bukhari and P. Studi Pendidikan Biologi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, "Pelatihan Fermentasi Tempe," *BARAKATI J. Community Serv.*, vol. 01, pp. 10–14, 2022.
- W. P. Rahayu, R. Pambayun, U. Santoso, L. Nuraida, and Ardiansyah, *Tinjauan Ilmiah Proses Pengolahan Tempe Kedelai*, Edisi 1 ed. Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI), 2015.
- B. Pramono, "Tempeh Fermentation Monitoring System in Real Time Using Android-Base Fuzzy Inference System Tsukamoto Model," *ANIMATOR*, vol. 1, no. 3, pp. 25–34, 2023.

Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan Fuzzy Logic untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe

- M. Hidayah, E. Prihartono, and B. Santoso, "Automatic Room Temperature Regulator for Making Tempe Based on Arduino with Fuzzy Logic Method," *J. Inf.*, p. 39, Feb. 2020, doi: 10.25139/inform.v3i2.1053.
- A. S. Rusdianto, L. M. Khasanah, B. Suryadharma, Y. Wibowo, and N. S. Mahardika, "Pengembangan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban di Ruang Fermentasi Tembakau Bawah Naungan (TBN) Berbasis Internet of Things (IoT)," *JOFE J. Food Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 90–100, Apr. 2022, doi: 10.25047/jofe.v1i2.3111.
- D. Hidayat, "Monitoring Suhu Dan Kelembaban Berbasis Internet Of Things (IoT)," 2021. [Online]. Available: www.Blynk.cc
- A. Fitri Nuroctavia, A. Murtono, and B. Priyadi, "Sistem Kendali Suhu Dan Kelembaban Pada Proses Fermentasi Tempe Dengan Metode PID", doi: 10.33795/elkolind.v8i3/304.
- B. Gunawan, "Rancang Bangun Pengontrolan Suhu dan Kelembaban pada Proses Fermentasi Tempe Berbasis Internet of Things," 2020.
- D. Wijanarko, S. Hasanah, J. T. Informasi, and P. N. Jember, "Monitoring Suhu Dan Kelembaban Menggunakan Sms Gateway Pada Proses Fermentasi Tempe Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler," 2017.
- P. Damayanti, "Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Inkubator Fermentasi Tempe Menggunakan Thinger.io," *J. ELKON*, vol. 3, no. 2, pp. 2809–140, 2023.
- A. H. W. Gunawan Dewantoro, Sri Hartini, "Alat Optimasi Suhu dan Kelembaban untuk Inkubasi Fermentasi dan Pengeringan Pasca Fermentasi," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 3, 2015, doi: 10.17529/jre.v11i3.2245.
- A. Selay *et al.*, "Internet Of Things," 2022.
- E. W. Pratama and A. Kiswantono, "Electrical Analysis Using ESP-32 Module In Realtime," *JEECS (Journal Electr. Eng. Comput. Sci.)*, vol. 7, no. 2, pp. 1273–1284, Jan. 2023, doi: 10.54732/jeeecs.v7i2.21.
- M. R. Pratama and T. Komputer, "Pengukuran Suhu dan Kelembaban Ruangan dengan Sensor DHT22 dan ESP32," 2022.
- N. E. Wijanarko, S. Pradana, and E. Yadie, "Rancang Bangun Sistem Alat Praktikum MOSFET di Laboratorium Elektronika Daya," *PoliGrid*, vol. 2, no. 2, p. 62, 2021, doi: 10.46964/poligrid.v2i2.711.
- M. R. Pratama and T. Komputer, "Pengukuran Suhu dan Kelembaban Ruangan dengan Sensor DHT22 dan ESP32," 2022.
- N. E. Wijanarko, S. Pradana, and E. Yadie, "Rancang Bangun Sistem Alat Praktikum MOSFET di Laboratorium Elektronika Daya," *PoliGrid*, vol. 2, no. 2, p. 62, 2021, doi: 10.46964/poligrid.v2i2.711.
- P. Bosowa, U. Muhammad, A. Mansur, M. Aditya Bachri Maulana, P. Studi Teknik Listrik, and P. Bosowa Jl Kapasa Raya, "Rancang Bangun Power Supply Adjustable Current pada Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik," *J. Electr. Enggining*, vol. 2, no. 2, 2021.
- Y. D. Handari, "Rancang Bangun Lampu Bohlam Dc Menggunakan Led Untuk Sistem Rumah Dc," *Ranc. Bangun Lampu Bohlam Dc Menggunakan Led Untuk Sist. Rumah Dc*, vol. 1, pp. 1–6, 2012.
- A. S. Nurcahyo M Ibrahim Ashari Sotyohadi, "Alat Pelipat Pakaian Otomatis Berbasis Pengendali Mikro," 2018.
- Aulia Rachmat, Fauzan Aulia Rahmat, and Lubis Imran, "Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Fan Dan Dht11 Berbasis Arduino," 2021.
- Jamaaluddin, "Rancang Bangun Alat Pengontrol Kelembaban Udara Pada Budidaya Jamur Menggunakan Arduino Uno dan Ultrasonic Mist Maker," *J-Eltrik*, vol. 2, no. 1, p. 46, 2021, doi: 10.30649/j-eltrik.v2i1.46.
- Santoso Purwo Slamet and F. Wijayanto, "Rancang Bangun Akses Pintu Dengan Sensor Suhu dan Handsanitizer Otomatis Berbasis Arduino," vol. 10 No 1, 2022.
- W. A. Prayitno, A. Muttaqin, and D. Syauqy, "Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban, dan Pengendali Penyiraman Tanaman Hdiroponik Menggunakan Blynk Android," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Komun. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 4, pp. 292–297, 2017, [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/87/46>
- R. Septima, S. Si, and M. Mat, *Sistem Inferensi Fuzzy Dengan Metode Mamdani Penerbit Cv.Eureka Media Aksara*. 2023.