

SISTEM MONITORING DAN KONTROL SUHU SERTA KELEMBABAN INKUBATOR UNTUK PROSES FERMENTASI TEMPE BERBASIS TEKNOLOGI IOT

Halen Apriano Sudirman Boyratan
Teknik Telekomunikasi
Telkom University
Bandung, Indonesia
halenapriano30@gmail.com

Produksi tempe secara tradisional di Indonesia masih menghadapi tantangan besar terkait ketidakstabilan suhu dan kelembaban selama proses fermentasi. Ketidakstabilan ini dapat menyebabkan variasi kualitas, risiko kegagalan produksi, dan kerugian ekonomi bagi produsen, terutama bagi usaha kecil yang mengandalkan metode manual. Masalah utama penelitian ini adalah belum adanya sistem otomatis yang dapat menjaga suhu dan kelembaban inkubator pada rentang ideal untuk mendukung fermentasi tempe secara konsisten.

Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa sistem monitoring dan kontrol suhu serta kelembaban inkubator berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem dirancang menggunakan sensor DHT22 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 untuk membaca data suhu dan kelembaban secara *real-time*. Data tersebut dikirim ke *Platform Blynk* sehingga pengguna dapat memantau kondisi fermentasi dari jarak jauh. Selain itu, sistem dilengkapi pemanas dan kipas yang dikendalikan otomatis untuk menjaga suhu dan kelembaban sesuai parameter yang telah ditentukan.

Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mempertahankan suhu inkubator pada rentang 30–37°C dan kelembaban 60–70% selama 24 jam fermentasi. Sistem berhasil menurunkan fluktuasi suhu hingga $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dan kelembaban $\pm 2\%$, meningkatkan konsistensi kualitas tempe dibandingkan metode konvensional. Kesimpulannya, penerapan sistem ini efektif mendukung produksi tempe dengan kualitas stabil, efisien, dan mudah digunakan oleh produsen kecil.

Kata kunci: ESP32, Fermentasi Tempe, Inkubator, *Internet of Things*, Kelembaban, *Platform Blynk*, Suhu, Sensor DHT22

I. PENDAHULUAN

Tempe merupakan salah satu pangan fermentasi khas Indonesia yang digemari masyarakat karena harganya terjangkau serta kandungan gizinya yang tinggi, antara lain 25% protein, 5% lemak, dan 4% karbohidrat [1]. Produk ini dibuat dari biji kedelai yang difermentasi menggunakan kapang *Rhizopus oligosporus* sehingga terbentuk gumpalan

kompak dengan tekstur padat. Proses fermentasi yang optimal sangat bergantung pada kestabilan suhu dan kelembaban, karena kedua parameter tersebut memengaruhi pertumbuhan miselium dan mutu akhir produk. Fermentasi berlangsung optimal pada suhu 25–37 °C dengan tingkat kelembaban yang cukup tinggi, di mana suhu di luar rentang tersebut dapat memperlambat fermentasi atau menghasilkan produk yang kurang optimal [2]. Berdasarkan catatan Badan Standardisasi Nasional (BSN) tahun 2012, sebagian besar produsen tempe di Indonesia masih menggunakan metode konvensional, di mana proses inkubasi dilakukan secara manual dengan menutup kedelai yang telah dikemas menggunakan kain. Cara ini kurang efisien karena rentan terhadap fluktuasi suhu dan kelembaban akibat perubahan cuaca.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membuka peluang untuk mengatasi keterbatasan metode konvensional. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembaban secara *real-time* melalui integrasi sensor, mikrokontroler, dan aplikasi berbasis cloud. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring otomatis pada proses fermentasi dapat meningkatkan konsistensi kualitas produk, efisiensi waktu, dan mengurangi risiko kegagalan produksi.

Permasalahan utama yang dihadapi produsen tempe, terutama skala kecil, adalah ketiadaan sistem otomatis yang terjangkau dan mudah dioperasikan untuk menjaga kondisi inkubasi tetap stabil. Ketidakstabilan parameter lingkungan tidak hanya berdampak pada kualitas dan keamanan pangan, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi serta menurunkan daya saing produk.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol suhu serta kelembaban inkubator berbasis IoT. Sistem ini diharapkan mampu mempertahankan kondisi fermentasi tempe dalam rentang optimal, meningkatkan efisiensi produksi, dan mendukung keberlanjutan usaha bagi produsen tempe skala kecil hingga menengah.

II. KAJIAN TEORI

A. Fermentasi Tempe

Fermentasi tempe adalah produk pangan fermentasi berbahan dasar kedelai dengan bantuan kapang *Rhizopus oligosporus*. Mikroorganisme ini menghasilkan enzim seperti protease, lipase, dan amilase yang memecah komponen nutrisi, meningkatkan nilai gizi, serta menghasilkan senyawa bioaktif bermanfaat bagi kesehatan. Fermentasi optimal berlangsung pada suhu 25–37 °C dengan kelembaban tinggi, di luar rentang tersebut proses akan melambat atau kualitas menurun [2].

Faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dosis ragi, dan jenis pembungkus (daun pisang atau plastik) memengaruhi pertumbuhan miselium dan mutu akhir. Standar Nasional Indonesia (SNI 3144:2015) menetapkan penilaian kualitas tempe berdasarkan aroma, warna, tekstur, dan penyebaran miselium yang merata [3].

B. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep teknologi yang memungkinkan objek fisik terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet. Teknologi ini memadukan perangkat keras, perangkat lunak, dan konektivitas untuk mengumpulkan, mengirimkan, serta menganalisis data secara otomatis tanpa interaksi manusia langsung. Pada sistem monitoring fermentasi tempe, IoT digunakan untuk memantau suhu dan kelembaban secara real-time [5]. Dengan sensor yang terintegrasi pada mikrokontroler, data lingkungan inkubasi dapat diperoleh secara akurat dan dikirim ke server atau aplikasi pengguna.

Penerapan IoT pada proses fermentasi tempe memungkinkan pengawasan dan pengendalian jarak jauh, sehingga stabilitas suhu dan kelembaban dapat terjaga untuk mendukung pertumbuhan kapang *Rhizopus* secara optimal. Hal ini meningkatkan kualitas dan konsistensi produksi sekaligus mengurangi risiko kegagalan fermentasi. Di sektor pangan, IoT telah digunakan pada *smart farming*, pengendalian kualitas produk, hingga *real-time monitoring* berbagai proses fermentasi [4]–[6].

C. Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang berfungsi mengukur suhu dan kelembaban relatif. Sensor ini memiliki empat pin, yaitu VCC, data (SDA), NC, dan GND, serta menggabungkan fungsi pengukuran suhu dan kelembaban dalam satu modul dengan keluaran yang telah dikalibrasi secara digital. Keunggulan tersebut membuatnya praktis, efisien, dan memiliki akurasi tinggi untuk pemantauan lingkungan.

DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu –40 °C hingga 80 °C dengan akurasi $\pm 0,5$ °C, serta kelembaban 0–100% RH dengan akurasi ± 2 –5% RH. Karakteristik ini menjadikannya andal untuk proses fermentasi tempe yang memerlukan kontrol presisi. Sensor ini mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler, seperti Arduino Uno atau ESP32, melalui satu pin data, dan memiliki konsumsi daya rendah sehingga ideal untuk aplikasi IoT pada sistem monitoring inkubator skala kecil hingga industri rumah tangga [7].

D. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler merupakan komponen inti dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang berfungsi mengendalikan dan memproses data dari sensor. Selain menerima sinyal input, mikrokontroler juga dapat mengirimkan data ke sistem atau server untuk dianalisis. Keunggulan utamanya meliputi konsumsi daya rendah, ukuran ringkas, dan kemampuan pemrograman yang fleksibel sesuai kebutuhan aplikasi.

Jenis mikrokontroler yang umum digunakan antara lain Arduino, Raspberry Pi, ESP32, dan ESP8266. Arduino dikenal karena kemudahan pemrograman dan harga terjangkau, sedangkan Raspberry Pi memiliki kemampuan pemrosesan lebih tinggi untuk aplikasi data intensif. ESP32 semakin diminati karena memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth bawaan, konsumsi daya rendah, dan kompatibilitas tinggi dengan berbagai platform IoT. Sementara itu, ESP8266 juga populer untuk aplikasi yang memerlukan konektivitas nirkabel dengan efisiensi energi [18].

E. Platform Blynk

Agar board ESP32 dapat terhubung dengan perangkat atau aplikasi IoT, diperlukan sebuah platform IoT yang menggabungkan perangkat keras dan perangkat lunak untuk mengelola pengumpulan, penyimpanan, visualisasi, dan analisis data. Salah satu platform populer karena kemudahan konfigurasinya adalah Blynk, yang menyediakan antarmuka intuitif untuk menghubungkan dan mengendalikan perangkat IoT melalui aplikasi mobile maupun web.

Blynk berfungsi sebagai layanan aplikasi yang memungkinkan mikrokontroler dikontrol melalui jaringan internet. Dengan dukungan berbagai *widget*, Blynk memudahkan pembuatan visualisasi data, pengiriman perintah, dan pemantauan status perangkat IoT dari jarak jauh tanpa pemrograman yang rumit. Aplikasi Blynk memiliki tiga komponen utama, yaitu Aplikasi, Server, dan *Libraries*, di mana Blynk Server berperan mengelola komunikasi antara smartphone dan perangkat keras [4].

III. METODE

Penelitian berfokus pada perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring serta kontrol suhu dan kelembaban pada proses fermentasi tempe berbasis *Internet of Things* (IoT).

Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah perancangan sistem, meliputi pembuatan diagram blok, pemilihan komponen, dan perancangan rangkaian perangkat keras yang terdiri atas mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, modul RTC DS3231, LCD 20x4, kipas, dan pemanas bohlam. Pada tahap ini juga dilakukan konfigurasi *platform Blynk* sebagai antarmuka monitoring dan pengendalian jarak jauh.

Tahap kedua adalah implementasi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras dirakit sesuai rancangan, kemudian dilakukan pemrograman ESP32 menggunakan bahasa C++ pada Arduino IDE untuk mengatur pembacaan sensor, logika kontrol, dan pengiriman data ke aplikasi Blynk melalui koneksi Wi-Fi.

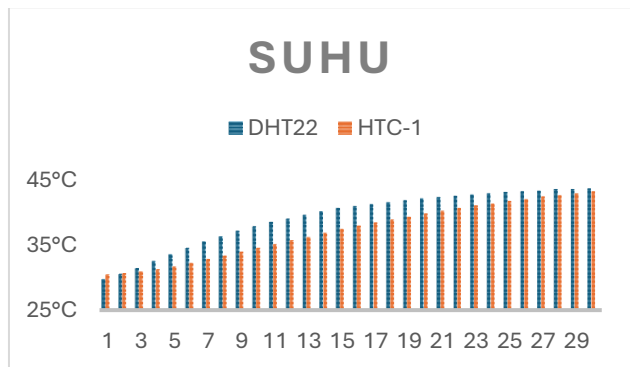
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT yang dirancang mampu memantau suhu dan kelembaban inkubator tempe secara real-time melalui *platform* Blynk. Sistem bekerja dengan mengintegrasikan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, kipas, dan pemanas bohlam.

A. Hasil Pengujian

Grafik di bawah menunjukkan perbandingan nilai suhu yang diperoleh dari sensor DHT22 dan Thermometer HTC1 untuk menghitung pengukuran dan besar akurasi dengan nilai parameter suhu dari komponen DHT22 dan nilai referensi suhu dari Thermometer HTC1. Dari 30 kali percobaan pengukuran suhu diperoleh rata-rata parameter suhu dari DHT22 yaitu 40,68%, sedangkan rata-rata referensi suhu dari Thermometer HTC1 yaitu 38,37%. Berdasarkan 30 kali percobaan tersebut diperoleh rata-rata selisih pengukuran sebesar 2,13% dengan persentase error rata-rata sebesar 5,59% dan akurasi rata-rata mencapai 94,41%.

Untuk memperjelas isi grafik, dilakukan penyesuaian pada sumbu koordinat. Sumbu vertikal berfungsi untuk menunjukkan bahwa angka yang ditampilkan merupakan nilai suhu dalam satuan derajat Celsius. Sedangkan sumbu horizontal yaitu sebagai yang merepresentasikan jumlah percobaan atau urutan pengambilan data dari pengujian sebanyak 30 kali.



GAMBAR 1
(A)

Pengujian kontrol otomatis dilakukan dengan pengaturan batas suhu 32–35 °C dan kelembaban 60–65% RH. Sistem mampu merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat; ketika suhu turun di bawah batas minimum, pemanas bohlam segera aktif, sedangkan ketika suhu melebihi batas maksimum, kipas otomatis menyala untuk menurunkan suhu. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga suhu dan kelembaban dalam rentang yang ditentukan dengan waktu respons kurang dari 10 detik setelah terjadi perubahan.

TABEL 1
(A)

Nomor	Keterangan Waktu	Status komponen		Keterangan Suhu	Keterangan Kelembaban
		Bohlam	Kipas		
1	12: 46: 04,67	REDUP	OFF	30,9 °C	74,9%
2	13: 16: 04,93	REDUP	OFF	31 °C	75,4%
3	13: 46: 04,16	REDUP	OFF	31 °C	75,4%
4	14: 16: 05,37	REDUP	OFF	30,9 °C	75,6%
5	14: 46: 06,58	REDUP	OFF	31 °C	76%
6	15: 16: 06,79	REDUP	OFF	31 °C	76,3%
7	15: 46: 06,05	REDUP	OFF	31 °C	76,6%
8	16: 16: 06,24	REDUP	OFF	31 °C	73,1%
9	16: 46: 06,38	REDUP	OFF	31 °C	73,1%
10	17: 16: 07,46	REDUP	OFF	31 °C	77,4%
11	17: 46: 06,63	REDUP	OFF	30,9 °C	76,7%
12	18: 16: 09,79	REDUP	OFF	31 °C	75,5%
Rata-rata suhu		30,98 °C			
Rata-rata kelembaban		75,5%			

Pengujian fermentasi dilakukan selama 48 jam dengan membandingkan metode manual dan metode berbasis IoT. Pada metode manual, suhu dan kelembaban mengalami fluktuasi signifikan, dengan perbedaan hingga ± 4 °C dari target, yang berdampak pada kualitas produk. Sebaliknya, metode IoT mampu mempertahankan suhu stabil di kisaran 32–34 °C dan kelembaban 62–64% RH, sehingga menghasilkan fermentasi yang lebih konsisten.

TABEL 2
(A)

Waktu (Jam)	Keterangan
0-6	Tempe beruap
7-12	Tempe masih beruap
13 – 18	Tempe masih beruap
19 – 24	Tempe masih beruap, dan mulai terlihat pertumbuhan awal jamur pada permukaan kedelai
25 – 30	Bagian luar tempe telah mengalami fermentasi.
31 – 36	Tempe terfermentasi sempurna di bagian dan dalam

TABEL 2
(B)

Waktu (Jam)	Target suhu (°C)				
	(30°C)	(35°C)	(40°C)	(45°C)	(50°C)
(0-6)	Tempe beruap	Tempe beruap	Tempe beruap	Tempe beruap	Tempe beruap
(7-12)	Tempe beruap dan belum tumbuh jamur	Tempe masih beruap	Tempe masih beruap	Tempe masih beruap	Tempe menjadi kering
(13-18)	Tempe masih beruap dan tidak tumbuh jamur	Warna kedelai memucat dan jamur memenuhi tempe sebagian	Sudah mulai tumbuh jamur sebagian	Tempe menjadi kering	Tempe semakin kering dan belum tumbuh jamur
(19-24)	Tempe tumbuh jamur tetapi hanya sedikit sehingga tidak terfermentasi sempurna	Tempe terfermentasi sempurna	Tempe tidak terfermentasi sempurna	Tempe menjadi lebih kering dan tidak terfermentasi sempurna	Tidak tumbuh jamur sehingga gagal terfermentasi

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring dan kontrol suhu serta kelembaban berbasis *Internet of Things* (IoT) guna meningkatkan efisiensi dan ketepatan proses fermentasi tempe, mengatasi permasalahan utama pada metode tradisional yang kerap mengalami fluktuasi suhu dan kelembaban. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22 untuk pembacaan data secara real-time dan platform Blynk untuk pemantauan serta pengendalian jarak jauh, didukung antarmuka lokal LCD 20x4 dan keypad 4x4 untuk pengaturan manual. Mekanisme otomatisasi memungkinkan pemanas bohlam aktif saat suhu di bawah batas dan kipas pendingin menyala ketika suhu melebihi ambang, sehingga rentang 30–35 °C dapat dipertahankan sebagai kondisi optimal fermentasi, menghasilkan tempe dengan pertumbuhan *Rhizopus oligosporus* merata, tekstur padat, dan aroma khas sesuai standar SNI 3144:2015. Pada suhu di atas 40 °C, kualitas produk menurun, dan fermentasi gagal total pada 50 °C. Sistem dilengkapi modul RTC DS3231 untuk ketepatan waktu fermentasi serta catu daya LM2596 untuk kestabilan tegangan, dengan akurasi sensor DHT22 sebesar $\pm 0,5$ °C untuk suhu dan $\pm 2\%$ RH untuk kelembaban, sehingga layak diterapkan pada proses fermentasi pangan.

REFERENSI

- [1] Damayanti, P. (2023). Sistem monitoring suhu dan kelembaban pada inkubator fermentasi tempe menggunakan Thinger.io. *Jurnal Elektro Kontrol (ELKON)*, 3(2).
- [2] Aji, G. M., Pratiwi, A. F., & Utami, S. W. (2024). Rancang bangun inkubator tempe untuk mempercepat waktu fermentasi. *Agroteknika*, 7(4), 488–497. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i4.321>
- [3] Kristiadi, O. H., & Lunggani, A. T. (2022). Tempe kacang kedelai sebagai pangan fermentasi unggulan khas Indonesia: Literature review. *Jurnal Andaliman: Jurnal Gizi Pangan, Klinik dan Masyarakat*, 2(2), 47–58. <https://doi.org/10.25077/andaliman.2.2.47-58.2022>
- [4] Shevchenko, J. B., Febrian, M. H., Setiyono, B., & Sudjadi, S. (2023). Pengaturan waktu fermentasi tempe dan notifikasi dengan metode logika fuzzy Sugeno berbasis IoT. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 12(4), 134–140. www.enggart.com/examples/students.html [May 21, 2003].
- [5] Bayu, I. W., & Purwanto, T. D. (2024). Rancang bangun alat sistem kontrol otomatis pada proses fermentasi tempe berbasis mikrokontroler. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 16(1).
- [6] S. Prasetyo, R. Nugroho, and D. Purnomo. (2021). Rancang Bangun Inkubator Tempe Berbasis IoT Menggunakan ESP8266 dan DHT22. *Jurnal Teknologi Pangan dan Pertanian*, 12(2), 45–52
- [7] Maulia, A., Baihaqi, N., & Pratama, M. R. (2024). Simulasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Ruangan Menggunakan Arduino Uno dan DHT22 pada Wokwi. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika (JTMEI)*, 4(1), xx–xx. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v4i1.4544>
- [8] Gitakarma, M. S. A., Ariawan, I. G., & Pracasitaram, K. U. (2025, Januari). Peran mikrokontroler dalam pengembangan aplikasi IoT: Tinjauan konseptual dan implementasi “[Role of Microcontrollers in the Development of IoT Applications: A Conceptual Review and Implementation]”. *Jurnal Komputer dan Teknologi Sains (KOMTEKS)*, 3(2). Universitas Panji Sakti Singaraja.
- [9] P. U. Rakhmawati, Rizdania, and Sumantri. (2024). Analisis komunikasi platform Internet of Things aplikasi Blynk. *Seminar Nasional TEKNOKA*, 9, C-40–C-46.