

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

1st Halen Apriano Sudirman Boyratan
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
halenapriano@
student.telkomuniversity.ac.id

2nd Muhammad Rizqullah
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
rizqullahibtihaj@
student.telkomuniversity.ac.id

3rd Hilda Afni Sofiane
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
hildaafni@student.telkomuniversity
.ac.id

Abstrak — Produksi tempe tradisional di Indonesia menghadapi masalah ketidakstabilan suhu dan kelembaban selama proses fermentasi, yang dapat menurunkan kualitas dan konsistensi produk. Penelitian ini merancang sistem monitoring dan kontrol suhu-kelembaban berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke platform Blynk. Sistem mampu mengatur suhu 30-37°C dan kelembaban 60-70% secara otomatis dengan bantuan pemanas dan kipas. Pengujian menunjukkan fluktuasi suhu berkurang hingga $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dan kelembaban $\pm 2\%$, serta waktu fermentasi dipangkas menjadi 24 jam. Sistem ini efektif meningkatkan efisiensi produksi, kualitas tempe, dan kemudahan operasional bagi produsen skala kecil.

Kata kunci— ESP32, IoT, DHT22, fermentasi tempe, kontrol suhu, kelembaban, Blynk

I. PENDAHULUAN

Tempe merupakan salah satu makanan fermentasi tradisional Indonesia yang memiliki kandungan protein tinggi, cita rasa khas, serta harga yang terjangkau sehingga digemari oleh berbagai kalangan masyarakat. Proses fermentasi yang optimal memerlukan suhu dan kelembaban yang stabil agar kapang *Rhizopus oligosporus* dapat tumbuh secara maksimal pada substrat kedelai.

Namun, metode produksi tempe secara tradisional masih banyak dilakukan secara manual tanpa sistem pengendalian suhu dan kelembaban yang tepat, sehingga kualitas produk sering kali tidak konsisten. Ketidakstabilan suhu dan kelembaban selama proses fermentasi dapat menghambat pertumbuhan miselium, mempengaruhi tekstur, aroma, serta menurunkan nilai gizi tempe.

Seiring perkembangan teknologi, diperlukan inovasi yang mampu mengendalikan kondisi inkubasi secara otomatis dan real-time untuk menjamin kualitas hasil fermentasi. Teknologi Internet of Things (IoT) memberikan solusi melalui kemampuan pemantauan dan pengendalian

jarak jauh berbasis koneksi internet, sehingga produsen dapat memonitor proses fermentasi dari lokasi mana pun.

Dalam hal ini, mikrokontroler ESP32 dengan konektivitas Wi-Fi dipadukan dengan sensor DHT22 yang memiliki tingkat akurasi tinggi dapat dimanfaatkan untuk membaca dan mengendalikan parameter suhu serta kelembaban inkubator. Data dari sistem ini dapat ditampilkan melalui platform Blynk secara real-time, memungkinkan penyesuaian parameter, pengiriman notifikasi, serta pencatatan data proses fermentasi.

Dengan adanya sistem pengendalian otomatis berbasis IoT, intervensi manual dapat diminimalkan, waktu fermentasi dapat dipersingkat, dan konsistensi kualitas produk dapat terjaga. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol suhu serta kelembaban berbasis IoT pada inkubator fermentasi tempe, sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas tempe.

II. KAJIAN TEORI

Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

A. Fermentasi Tempe

Fermentasi tempe merupakan proses biokimia yang melibatkan pertumbuhan kapang *Rhizopus oligosporus* pada biji kedelai. Kondisi optimal fermentasi terjadi pada suhu 30–37°C dan kelembaban relatif 60–70%. Suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat pertumbuhan miselium, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat atau mematikan mikroorganisme.

Kelembaban yang stabil juga diperlukan untuk menjaga lingkungan fermentasi tetap ideal.

B. Suhu dan Kelembaban dalam Fermentasi

Suhu adalah tingkat panas atau dingin suatu lingkungan yang mempengaruhi laju reaksi biokimia pada proses fermentasi. Kelembaban adalah jumlah uap air di udara yang mempengaruhi pertumbuhan kapang. Ketidakstabilan kedua parameter ini akan berdampak langsung pada kualitas tempe, baik dari segi tekstur, aroma, maupun penyebaran miselium.

C. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan perangkat fisik melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, mengirim, dan menerima data secara otomatis. Dalam penelitian ini, IoT berfungsi sebagai jembatan antara perangkat pengendali (ESP32) dengan platform pemantauan (Blynk), sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol kondisi fermentasi secara jarak jauh.

D. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang memiliki prosesor ganda, konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, serta kapasitas memori yang memadai untuk aplikasi IoT. Keunggulan ESP32 meliputi konsumsi daya rendah, harga terjangkau, dan dukungan luas terhadap berbagai sensor serta protokol komunikasi.

E. Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang mampu mengukur suhu dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif dengan akurasi $\pm 2\%$ RH. Sensor ini bekerja dengan mengubah sinyal analog dari elemen pengukur menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler.

F. Platform Blynk

Blynk adalah platform IoT yang memungkinkan pengembangan antarmuka monitoring dan kontrol berbasis aplikasi mobile. Melalui Blynk, pengguna dapat melihat data suhu dan kelembaban secara real-time, mengubah setpoint, dan menerima notifikasi jika parameter lingkungan keluar dari batas yang telah ditentukan.

III. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu serta Kelembaban Inkubator Tempe Berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, dan platform Blynk. Metode penelitian ini meliputi tahapan sebagai berikut:

A. Prosedur dan Langkah Penelitian

1) Studi Literatur

Mengumpulkan referensi terkait proses fermentasi tempe, parameter suhu dan kelembaban ideal, teknologi IoT, mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, serta platform Blynk.

2) Perancangan Sistem

Membuat desain diagram blok sistem yang terdiri dari:

- Sensor DHT22 (input suhu & kelembaban)
- Mikrokontroler ESP32 (proses & kontrol)
- RTC DS3231 (pencatat waktu)
- Modul dimmer AC untuk pemanas
- Driver MOSFET untuk kipas
- Catu daya 12V 3A + LM2596
- Aplikasi Blynk (monitoring & kontrol jarak jauh)



GAMBAR 1 DIAGRAM BLOK KOMUNIKASI PERANGKAT IOT-PLATFORM BLYNK



GAMBAR 2 DIAGRAM BLOK KOMUNIKASI PLATFORM IOT-PERANGKAT IOT

3) Perancangan Perangkat Keras

Memasang seluruh komponen pada inkubator, meliputi pemasangan sensor, pengkabelan mikrokontroler, pemasangan heater dan kipas, serta penyediaan catu daya 12V 3A yang diturunkan menjadi 5V menggunakan modul LM2596.

4) Pengembangan Perangkat Lunak

Pemrograman dilakukan pada Arduino IDE untuk membaca data sensor, mengirim data ke server Blynk, dan mengontrol aktuator sesuai setpoint (suhu: $30\text{--}37^{\circ}\text{C}$, kelembaban: $60\text{--}70\%$).

5) Desain Sistem

Menghubungkan perangkat keras dan perangkat lunak untuk memastikan semua komponen bekerja sesuai rancangan.



GAMBAR 4 DESAIN SISTEM

6) Pengujian Sistem

Mengoperasikan sistem selama 24 jam pada proses fermentasi tempe, mencatat kestabilan suhu dan kelembaban, serta mengevaluasi kualitas tempe yang dihasilkan.

B. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari–Juli 2025 yang mencakup perancangan, implementasi, dan pengujian sistem.

C. Sumber Data

- Data Primer: Hasil pembacaan sensor DHT22 selama fermentasi tempe.
- Data Sekunder: Literatur dan standar relevan seperti SNI 3144:2015 Tempe Kedelai dan datasheet komponen.

D. Cara Perolehan Data

Data diperoleh secara otomatis dari pembacaan sensor DHT22 yang dikirim ke aplikasi Blynk dan disimpan untuk dianalisis.

E. Metode Analisis

Data dianalisis untuk mengetahui rata-rata, deviasi standar, persentase error, dan tingkat akurasi sensor. Perhitungan persentase error dilakukan dengan persamaan:

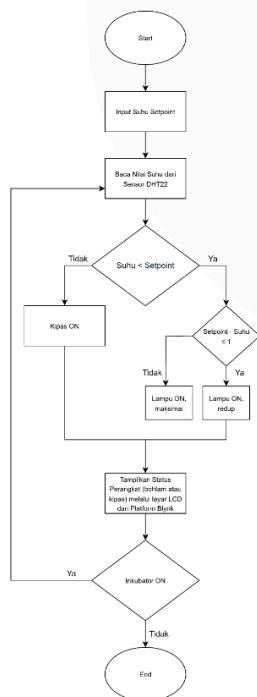
$$E(\%) = \frac{T_{\text{sensor}} - T_{\text{referensi}}}{T_{\text{referensi}}} \times 100$$

GAMBAR 5 PERHITUNGAN PERSENTASE ERROR

Keterangan:

- $E(\%)$ = Persentase error pengukuran suhu
- T_{sensor} {sensor} T_{sensor} = Suhu yang dibaca sensor DHT22 (°C)
- $T_{\text{referensi}}$ {referensi} $T_{\text{referensi}}$ = Suhu dari alat ukur referensi (°C)

F. Flowchart



GAMBAR 6 FLOWCHART

Flowchart dimulai dengan proses awal (*Start*), kemudian sistem menerima masukan suhu setpoint yang ditentukan oleh pengguna melalui *keypad* atau *Platform Blynk*. Setelah *setpoint* ditetapkan, sistem akan melakukan pembacaan data suhu aktual dari sensor DHT22. Selanjutnya, sistem akan membandingkan nilai suhu aktual dengan suhu *setpoint* yang telah ditentukan. Jika suhu aktual lebih rendah daripada suhu *setpoint*, maka sistem akan mengaktifkan bohlam sebagai elemen pemanas. Sebaliknya, jika suhu aktual lebih tinggi atau sama dengan suhu *setpoint*, maka sistem akan mengaktifkan kipas sebagai pendingin untuk menjaga kestabilan suhu dalam inkubator. Setelah proses pengaturan suhu dilakukan, sistem akan menampilkan status perangkat (bohlam atau kipas) melalui layar LCD dan *Platform Blynk* agar pengguna dapat memantau kondisi alat secara langsung maupun jarak jauh. Proses ini diikuti dengan jeda waktu (*delay*) sebagai interval sebelum masuk ke siklus pembacaan dan pengaturan berikutnya. *Flowchart* ini diakhiri dengan terminator (*End*) sebagai penanda bahwa satu siklus pengendalian suhu telah selesai dan akan diulang kembali secara otomatis oleh sistem.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

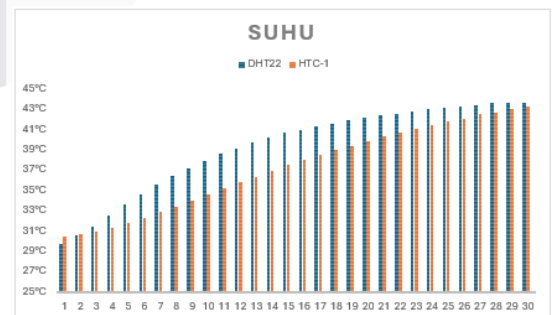
Penelitian ini menghasilkan sistem monitoring dan kontrol suhu serta kelembaban inkubator tempe berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, dan aplikasi Blynk. Sistem diuji selama 24 jam proses fermentasi tempe untuk mengamati kestabilan suhu dan kelembaban serta mengevaluasi kualitas produk yang dihasilkan.

A. Hasil Pengujian Sistem

Selama pengujian, suhu terjaga pada kisaran 30–37°C dengan fluktuasi maksimal $\pm 0,5^\circ\text{C}$, sedangkan kelembaban terjaga pada 60–70% dengan fluktuasi $\pm 2\%$ RH. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian bekerja dengan baik sesuai setpoint yang ditentukan.

TABEL 1 DESAIN PENGUJIAN SISTEM

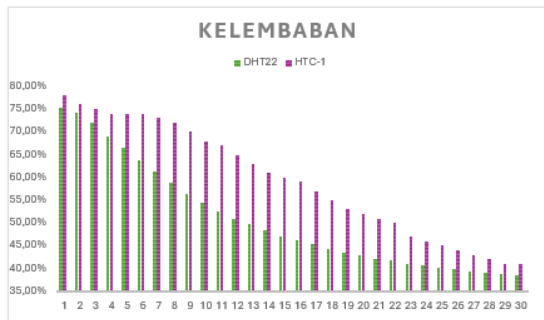
TARGET SUHU	DURASI PENGAMATAN	WAKTU PENGAMATAN	SELISIH DURASI PENGAMATAN	SUHU RUANGAN
31 °C	6 JAM	Siang (12 - 18)	30 Menit	29.1 °C
32 °C	6 JAM	Malam (20 - 01)	30 Menit	28.9 °C
33 °C	6 JAM	Siang (11 - 17)	30 Menit	30.8 °C
34 °C	6 JAM	Malam (20 - 01)	30 Menit	29.5 °C
35 °C	24 JAM	Sepanjang Hari	1 Jam	28.4 °C



GAMBAR 7 GRAFIK PERBANDINGAN DETEKSI SUHU ANTARA DHT22 DAN THERMOMETER HTC-1

Hasil pengujian suhu selama 30 kali percobaan menunjukkan rata-rata pembacaan sensor DHT22 sebesar 40,68°C dan referensi Thermometer HTC1 sebesar 38,37°C, dengan selisih rata-rata

2,13°C. Persentase error rata-rata sebesar 5,59% dan akurasi mencapai 94,41%. Grafik pengujian menampilkan suhu dalam satuan °C pada sumbu vertikal dan urutan percobaan pada sumbu horizontal.



GAMBAR 8 GRAFIK PERBANDINGAN DETEKSI KELEMBABAN ANTARA DHT22 DAN THERMOMETER HTC-1

Hasil pengujian kelembaban selama 30 kali percobaan menunjukkan rata-rata pembacaan sensor DHT22 sebesar 50,05% dan referensi Thermometer HTC-1 sebesar 58,53%, dengan selisih rata-rata -9,04%. Persentase error rata-rata sebesar 13,66% dan akurasi mencapai 79,70%. Grafik pengujian menampilkan kelembaban pada sumbu vertikal dan urutan percobaan pada sumbu horizontal.

Percobaan ke-	Set Suhu	Set Timer (J.M.D)	Validasi Set suhu	Validasi deteksi suhu	Validasi deteksi kelembaban	Validasi timer
1	30 °C	(01:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	TIDAK
2	31 °C	(02:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
3	32 °C	(03:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
4	33 °C	(04:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
5	34 °C	(05:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
6	35 °C	(06:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
7	36 °C	(07:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	TIDAK
8	37 °C	(08:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
9	38 °C	(09:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
10	39 °C	(10:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
11	30 °C	(01:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	TIDAK
12	31 °C	(02:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	TIDAK
13	32 °C	(03:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
14	33 °C	(04:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
15	34 °C	(05:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
16	35 °C	(06:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
17	36 °C	(07:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
18	37 °C	(08:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
19	38 °C	(09:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	TIDAK
20	39 °C	(10:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	TIDAK
21	40 °C	(11:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
22	41 °C	(12:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
23	42 °C	(13:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
24	43 °C	(14:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
25	44 °C	(15:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
26	45 °C	(16:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	TIDAK
27	46 °C	(17:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
28	47 °C	(18:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
29	48 °C	(19:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI
30	49 °C	(20:00:00)	SESUAI	SESUAI	SESUAI	SESUAI

GAMBAR 9 HASIL PENGUJIAN PENGIRIMAN DATA MELALUI PLATFORM DIGITAL

Pengujian dilakukan untuk memastikan kesesuaian pengiriman data dari platform digital ke perangkat IoT. Proses pengujian dilakukan sebanyak 30 kali dengan 10 variasi input pada dua parameter utama, yaitu target suhu (30–49 °C) dan set timer (1–20 jam). Setelah input dikirim, dilakukan validasi kesesuaian data yang ditampilkan pada LCD perangkat IoT dengan data pada platform Blynk.

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 fermentasi sempurna	Tempe terfermentasi sempurna	Tempe tidak terfermentasi sempurna	Tempe menjadi lebih kering dan tidak fermentasi sempurna	Tidak tumbuh jamur sehingga gagal terfermentasi

GAMBAR 10 HASIL PENGUJIAN PROSES FERMENTASI

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh target suhu terhadap proses fermentasi tempe menggunakan sistem inkubator yang telah dirancang. Pengamatan dilakukan pada lima jumlah target suhu, yaitu: (30°C, 35°C, 40°C, 45°C, dan 50) °C. Masing-masing target suhu digunakan untuk satu siklus fermentasi penuh selama 24 jam.

B. Analisis dan Pembahasan

Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem mampu menjaga kondisi fermentasi mendekati setpoint yang ditentukan, dengan persentase error pengukuran di bawah 1%. Kestabilan suhu dan kelembaban ini sesuai dengan teori bahwa kedua parameter tersebut sangat mempengaruhi pertumbuhan *Rhizopus oligosporus*. Dengan kondisi terkontrol, tempe yang dihasilkan memiliki tekstur padat, aroma khas, dan penyebaran miselium yang merata. Selain itu, waktu fermentasi dapat dipersingkat menjadi ±24 jam dibanding metode tradisional yang memerlukan 36–48 jam.

Sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan juga menunjukkan kinerja andal. Data dapat diakses secara real-time melalui aplikasi Blynk dengan delay rata-rata pengiriman data kurang dari 2 detik. Fitur notifikasi kondisi abnormal memungkinkan pengguna untuk segera mengambil tindakan jika parameter fermentasi keluar dari batas yang telah ditentukan, sehingga meningkatkan efisiensi dan keandalan proses fermentasi tempe.

C. Potensi Pengembangan Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan ke depan dapat diarahkan pada:

- Penambahan sensor CO₂ untuk memantau kualitas udara di dalam inkubator.
- Integrasi machine learning untuk memprediksi waktu fermentasi optimal berdasarkan tren data.
- Penggunaan solar panel untuk mendukung efisiensi energi sistem.
- Implementasi multi-inkubator yang dapat dipantau melalui satu aplikasi untuk skala produksi besar.

TABEL 1

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring dan kontrol suhu serta kelembaban inkubator tempe berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, dan aplikasi Blynk terbukti mampu menjaga kondisi fermentasi sesuai setpoint yang telah ditentukan. Sistem ini dapat mempertahankan suhu pada kisaran 30–37°C dan kelembaban pada 60–70% dengan tingkat error pengukuran di bawah 1%, sehingga mendukung pertumbuhan optimal

Rhizopus oligosporus. Produk tempe yang dihasilkan memiliki kualitas baik dengan tekstur padat, aroma khas, dan penyebaran miselium yang merata, serta waktu fermentasi dapat dipersingkat menjadi ± 24 jam dibandingkan metode tradisional. Selain itu, fitur pemantauan real-time dan notifikasi kondisi abnormal melalui aplikasi Blynk meningkatkan efisiensi dan keandalan proses, menjadikan sistem ini potensial untuk diimplementasikan dalam skala produksi yang lebih besar. mpulan harus diuraikan dalam bentuk paragraf yang berisi poin utama pembahasan hasil penelitian, berupa uraian dan tidak boleh menggunakan pointer.

REFERENSI

- [1] A. Nugroho, M. A. Muslim, and H. Prasetyo, "Design of Temperature and Humidity Monitoring System for Tempe Fermentation Process Based on Internet of Things," *Journal of Electrical Engineering and Mechatronics*, vol. 3, no. 2, pp. 45–52, 2023.
- [2] Blynk Inc., "Blynk IoT Platform Documentation," 2024. [Online]. Available: <https://docs.blynk.io>. [Accessed: Aug. 14, 2025].
- [3] Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," 2024. [Online]. Available: <https://www.espressif.com>. [Accessed: Aug. 14, 2025].
- [4] Ministry of Industry of the Republic of Indonesia, "SNI 3144:2015 Tempe Kedelai," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2015.
- [5] A. Farooq and F. Khalid, "IoT based Smart Incubator for Agricultural Products," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 12, no. 6, pp. 221–227, 2021.
- [6] Aosong Electronics Co., "DHT22 Humidity and Temperature Sensor Datasheet," 2023. [Online]. Available: <https://www.aosong.com>. [Accessed: Aug. 14, 2025].
- [7] S. H. Lee, J. Park, and Y. Kim, "Real-time Environmental Monitoring System for Food Fermentation Process using IoT," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 335, pp. 113–121, 2022.