

EKOSISTEM IOT BERUPA DASHBOARD MONITORING DAN KONTROL OTOMATIS FERMENTASI TEMPE MENGGUNAKAN ESP32

Yulian Mirza¹, Ariansyah Saputra¹, Fithri Selva Jumeilah^{*1}, Azwardi¹, Rista Putri¹, Muhammad Dama Adiputra¹, Muhammad Yusuf Santoso¹

¹Program Studi Teknik Komputer, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

Penulis korespondensi: Fithri Selva Jumeilah (fithri.selva.jumeilah@polsri.ac.id)

Fermentasi tempe merupakan bioproses tradisional yang sangat sensitif terhadap fluktuasi suhu, kelembapan, dan akumulasi gas amonia yang dapat menurunkan kualitas produk pada industri rumah tangga. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan ekosistem Internet of Things (IoT) yang mencakup desain perangkat keras hingga dashboard monitoring dan kontrol otomatis fermentasi tempe berbasis ESP32. Metode Rapid Application Development (RAD) diterapkan dengan tahapan kalibrasi sensor DHT21 dan MQ-135 untuk menjamin akurasi data. Implementasi menunjukkan sistem mampu mempertahankan suhu pada rentang 30°C – 35°C serta kelembapan 60% – 80% RH, dan mendeteksi konsentrasi gas amonia 0,13 – 0,32 ppm selama proses fermentasi 24 jam. Dibandingkan dengan metode konvensional, penggunaan sistem mempercepat pertumbuhan miselium sehingga tempe lebih padat dan kompak. Dashboard monitoring yang dikembangkan mampu menampilkan data secara real-time dan mendukung pengambilan keputusan bagi pengguna.

Kata Kunci – Fermentasi Tempe, Internet of Things, Mikrokontroler ESP32.

I. PENDAHULUAN

Tempe merupakan produk pangan fungsional hasil fermentasi kedelai yang memiliki peran strategis dalam ketahanan pangan nasional. Kualitas tempe secara biologis sangat ditentukan oleh aktivitas kapang *Rhizopus oligosporus* yang menghidrolisis protein kedelai menjadi asam amino yang lebih mudah dicerna [1]. Pada skala UMKM, proses produksi tempe masih sangat bergantung pada praktik konvensional sehingga hasil yang diperoleh sering tidak konsisten, terutama ketika terjadi perubahan cuaca ekstrem. Parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan udara merupakan faktor penentu keberhasilan bioproses ini. Suhu ideal untuk pertumbuhan kapang berada pada rentang 30°C–35°C dengan kelembapan relatif 60%–80% RH [10]. Ketidakmampuan produsen dalam menjaga stabilitas parameter tersebut dapat mengakibatkan tekstur tempe kurang padat hingga risiko kegagalan fermentasi total.

Selain suhu dan kelembapan, akumulasi gas amonia (NH_3) di dalam ruang fermentasi sering kali terabaikan. Bau amonia yang menyengat merupakan indikator terjadinya dekomposisi protein berlebihan atau kontaminasi bakteri proteolitik akibat suhu yang terlalu tinggi (overheating). Tanpa sistem deteksi dini, perajin baru menyadari kegagalan produksi ketika produk sudah tidak layak dikonsumsi, sehingga menimbulkan kerugian ekonomi [7]. Oleh karena itu, integrasi teknologi sensor yang mampu memantau polutan organik secara real-time menjadi kebutuhan mendesak dalam meningkatkan standar keamanan pangan nasional.

Dalam lima tahun terakhir, sejumlah penelitian telah mengembangkan alat pengendali suhu untuk inkubasi tempe [3], [4]. Mayoritas penelitian tersebut masih bersifat sistem mandiri (standalone system) dengan keluaran berupa layar LCD di lokasi alat serta pengendalian yang dilakukan secara lokal. Keterbatasan ini menyulitkan produsen yang memiliki mobilitas tinggi untuk memantau kondisi ruang fermentasi dari jarak jauh. Lebih lanjut, interoperabilitas dalam ekosistem IoT pada penelitian sebelumnya belum memperhatikan aspek User Experience (UX) pada sisi perangkat lunak; dashboard yang digunakan umumnya hanya menampilkan angka mentah tanpa analisis tren ataupun sistem peringatan dini yang responsif [11]. Sangat sedikit penelitian yang mengintegrasikan sensor gas amonia sebagai parameter monitoring, padahal variabel ini merupakan kunci deteksi degradasi mutu sebelum kerusakan fisik terlihat secara visual.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sebuah ekosistem IoT yang mencakup perangkat keras dan perangkat lunak secara terpadu. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor DHT21 untuk pengukuran suhu dan kelembapan, sensor MQ-135 untuk deteksi tren akumulasi gas organik sisa dekomposisi, serta aktuator yang dikendalikan secara otomatis melalui modul relay. Inovasi utama dari penelitian ini terletak pada presisi integrasi sistem perangkat keras multi-parameter (suhu, kelembapan, dan respon gas organik) yang terhubung secara terpadu dengan mikrokontroler ESP32, sehingga kontrol otomatisasi ruang fermentasi dapat berjalan stabil

dan terintegrasi dengan platform pemantauan jarak jauh. Selain itu, kemudahan aksesibilitas data fermentasi secara real time bagi pelaku UMKM.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan model *pengembangan Rapid Application Development* (RAD) yang bersifat iteratif dan melibatkan pengguna secara intensif pada setiap tahapan. Penggunaan metode ini didasari kebutuhan sistem yang memerlukan kecepatan, fleksibilitas, serta umpan balik langsung dari calon pengguna [14]. Tahapan penelitian yang dilaksanakan meliputi perencanaan kebutuhan, perancangan sistem, pembangunan sistem, integrasi, dan pengujian.

A. Perencanaan Kebutuhan

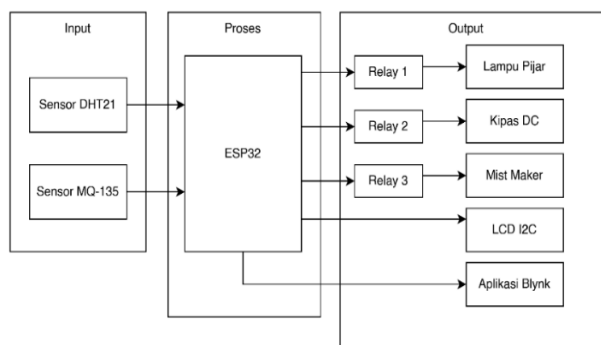
Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan sistem melalui studi literatur dan observasi proses fermentasi tempe. Studi literatur mengkaji jurnal, buku, dan prosiding mengenai fermentasi tempe, Internet of Things, mikrokontroler ESP32, sensor DHT21, sensor MQ-135, serta sistem monitoring dan kontrol otomatis. Observasi pada sentra produksi tempe menunjukkan bahwa pengendalian kondisi ruang fermentasi dilakukan secara manual, yaitu dengan menutup rak menggunakan kain pada saat suhu menurun dan menggunakan kipas ketika suhu meningkat. Tindakan tersebut dilakukan tanpa mengetahui nilai suhu dan kelembapan secara langsung. Berdasarkan kebutuhan tersebut, ditetapkan spesifikasi komponen yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat

Komponen	Spesifikasi/Fungsi
ESP32	Mikrokontroler dual-core Xtensa LX6, clock 240 MHz, WiFi & BLE
Sensor DHT21	Pengukur suhu (-40–80°C) dan kelembapan (0–100% RH)
Sensor MQ-135	Deteksi NH ₃ , CO ₂ , alkohol (keluaran analog)
Modul Relay 4CH	Pengendali lampu, kipas, dan mist maker (low-level trigger)
Lampu pijar	Sumber panas
Kipas DC 12V	Sirkulasi udara
Mist maker	Penambah kelembapan
LCD 16x2 I2C	Display informasi lokal
Software	Arduino IDE, platform IoT

B. Perencanaan Kebutuhan

Perancangan dimulai dengan penyusunan diagram blok sistem yang menggambarkan alur input, proses, dan output. Gambar 1 menunjukkan arsitektur ekosistem IoT yang dikembangkan. Sensor DHT21 dihubungkan ke ESP32 melalui pin GPIO 15 dengan protokol *single-wire*, sedangkan sensor MQ-135 dihubungkan melalui pin ADC GPIO 34. Modul relay terhubung ke GPIO 33, 25, 26, dan 27 untuk mengendalikan lampu pijar, dua unit kipas DC, dan mist maker. Data hasil pembacaan sensor dikirim ke *dashboard* monitoring secara real-time melalui koneksi WiFi.



Gambar 1. Diagram Blok Ekosistem IoT Fermentasi Tempe

C. Perancangan Algoritma Kontrol

Sistem mengadopsi logika switching otomatis berbasis pembacaan sensor DHT21. Lampu pijar diaktifkan ketika suhu berada di bawah 30°C dan dimatikan ketika suhu mencapai 35°C. Kipas diaktifkan secara ganda, yaitu sebagai penurun kelembapan ketika kelembapan melebihi 80% RH, atau sebagai pendingin ruang melampaui batas kritis 35 °C.. Mist maker diaktifkan ketika kelembapan berada di bawah 50% RH dan dimatikan setelah mencapai 70% RH. Penerapan perbedaan batas aktif dan nonaktif (histeresis) bertujuan mengurangi frekuensi hidup-mati relay secara berulang sehingga sistem dapat bekerja lebih stabil. Alur sistem dimulai dengan inisialisasi seluruh komponen dan koneksi jaringan, membaca data dari sensor, membandingkan dengan ambang batas, menggerakkan aktuator, menampilkan di LCD, dan mengirim ke dashboard.

D. Pembangunan dan Integrasi Sistem

Tahap pembangunan sistem merealisasikan hasil rancangan menjadi prototipe perangkat. Ruang inkubator memiliki dimensi 40 × 30 × 40 cm yang terbuat dari papan PVC dan dilapisi aluminium foil pada bagian dalam untuk menjaga kestabilan suhu. Pintu dilengkapi dengan material transparan sehingga kondisi fermentasi dapat diamati tanpa membuka ruang inkubator. Kotak komponen diletakkan pada bagian atas untuk melindungi rangkaian elektronika. Sensor DHT21 dipasang di bagian tengah ruang fermentasi, sensor MQ-135 di bagian atas, sementara seluruh aktuator ditempatkan sesuai fungsinya. Firmware ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE, sedangkan dashboard dibuat dengan pendekatan *User Experience* (UX) yang intuitif.

E. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan secara bertahap: (1) akurasi sensor DHT21 dibandingkan terhadap *thermometer hygrometer* digital dengan persentase kesalahan dihitung menggunakan Persamaan (1); (2) respons sensor MQ-135 terhadap perubahan gas amonia selama fermentasi; (3) fungsi aktuator diuji berdasarkan skenario logika kontrol; dan (4) pengujian keseluruhan dilakukan menggunakan biji kedelai 200 gram selama 24 jam fermentasi dengan pengamatan setiap 4 jam, sekaligus membandingkan dengan metode manual.

$$\text{Error (\%)} = \frac{|X - X_i|}{X} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan X merupakan nilai variabel yang terukur pada alat referensi, sedangkan X_i merupakan nilai pembacaan yang dihasilkan oleh sensor DHT21.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

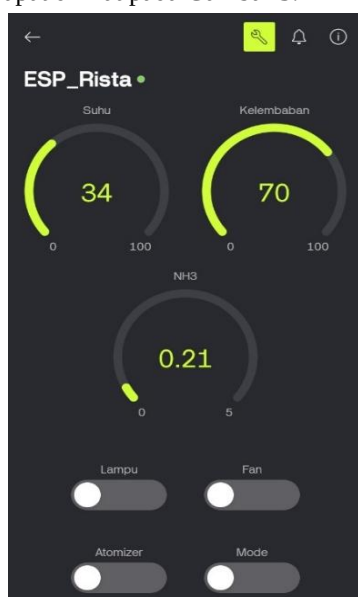
A. Hasil Implementasi Ekosistem IoT

Ekosistem IoT yang dirancang telah berhasil diimplementasikan secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Perangkat keras terdiri atas inkubator fermentasi, modul ESP32, sensor DHT21 dan MQ-135, modul relay, tiga aktuator lampu pijar sebagai sumber panas, kipas DC sebagai sirkulasi udara, mist maker sebagai penambah kelembapan, LCD I2C sebagai media tampilan local.



Gambar 2. Tampilan Depan Alat

Pada sisi perangkat lunak, dashboard monitoring dikembangkan dengan prinsip UX yang menampilkan tiga gauge utama (suhu, kelembapan, konsentrasi gas amonia), status aktuator, dan dua mode kendali (otomatis dan manual). Antarmuka memungkinkan pengguna memantau dari jarak jauh selama terhubung internet. Visualisasi dashboard dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Dashboard Blynk

B. Hasil Pengujian Sensor DHT21

Pengujian akurasi sensor DHT21 dilakukan pada lima kondisi berbeda dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat referensi. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2 untuk hasil pengujian suhu dan Tabel 3 untuk hasil pengujian kelembapan.

Tabel 2. Pengujian Akurasi Sensor Suhu DHT21

No	Suhu DHT21 (°C)	Suhu Referensi (°C)	Error (%)
1	30,7	31,0	0,97
2	32,8	32,4	1,23
3	33,1	33,4	0,90
4	34,9	34,6	0,87
5	34,7	34,6	0,29
Rata-rata			0,85

Tabel 3. Pengujian Akurasi Sensor Kelembapan DHT21

No	Kelembapan DHT21 (%)	Kelembapan Referensi (%)	Error (%)
1	63	65	3,08
2	69	68	1,45
3	72	74	2,78
4	77	78	1,30
5	82	82	0,00
Rata-rata			1,72

Untuk mengetahui tingkat akurasi sensor DHT21, dilakukan perhitungan persentase error dengan persamaan (1) dengan membandingkan hasil pembacaan sensor. Dari hasil pengujian, sensor DHT21 memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata kesalahan pengukuran suhu sebesar 0,85% yang membuktikan selisih pembacaan dengan alat referensi relatif kecil. Sedangkan nilai error kelembapan menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik yaitu sebesar 1,72%. Nilai kesalahan yang kecil menunjukkan sensor layak digunakan sebagai dasar pengendalian kondisi lingkungan fermentasi.

C. Hasil Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan konsentrasi gas yang terindikasi sebagai amonia selama fermentasi. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Sensor MQ-135

No	Waktu Fermentasi (jam)	Konsentrasi Gas (ppm)	Keterangan
1	0	0,13	Kondisi awal fermentasi
2	4	0,15	Mengalami peningkatan
3	8	0,16	Mengalami peningkatan
4	12	0,20	Mengalami peningkatan
5	16	0,25	Mengalami peningkatan
6	20	0,32	Nilai tertinggi
7	24	0,28	Mengalami penurunan

Berdasarkan data pada Tabel 4, sensor MQ-135 menunjukkan respon terhadap perubahan konsentrasi gas sisa metabolisme selama bioproses fermentasi berlangsung. Pada awal pengamatan (0 jam), nilai awal terukur sebesar 0,13 ppm dan mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai puncaknya sebesar 0,32

ppm pada jam ke-20, sebelum akhirnya menurun menjadi 0,28 ppm pada jam ke-24. Pola fluktuasi ini mengindikasikan dinamika aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan makromolekul organik.

Perlu diperjelas bahwa sensor MQ-135 memiliki sifat sensitivitas silang (cross-sensitivity) terhadap berbagai jenis Volatile Organic Compounds (VOCs). Oleh karena itu, besaran data yang diperoleh pada kisaran 0,13 ppm hingga 0,32 ppm tersebut direpresentasikan sebagai estimasi konsentrasi akumulasi gas organik, alih-alih nilai absolut amonia murni. Meskipun demikian, kecenderungan tren kenaikan data tersebut secara kualitatif tetap valid untuk memantau fase dekomposisi protein dan pembentukan senyawa volatil selama fermentasi aktif.

D. Hasil Pengujian Fungsi Aktuator

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem dapat mengendalikan lampu, kipas, dan mist maker secara otomatis berdasarkan nilai suhu dan kelembapan yang dibaca oleh sensor DHT21. Hasilnya disajikan pada Tabel 5 yang menunjukkan sistem mampu menjaga kondisi lingkungan fermentasi sesuai kebutuhan.

Tabel 5. Pengujian Kendali Relay, Lampu, Kipas dan Mist Maker

No	Skenario Pengujian	Kondisi Lingkungan	Kondisi Aktuator	Hasil
1	Lampu ON	Suhu < 30°C	Aktif	Berhasil
2	Lampu OFF	Suhu ≥ 35°C	Non-aktif	Berhasil
3	Kipas ON (Kelembapan)	Kelembapan > 80% RH	Aktif	Berhasil
4	Kipas ON (Overheat Protection)	Suhu > 35°C	Aktif	Berhasil
5	Kipas OFF	Kelembapan < 60% RH	Non-aktif	Berhasil
6	Mist maker ON	Kelembapan < 50% RH	Aktif	Berhasil
7	Mist maker OFF	Kelembapan ≥ 70% RH	Non-aktif	Berhasil

Seluruh skenario kontrol berhasil dijalankan dengan tingkat keberhasilan 100%. Adanya nilai ambang yang berbeda antara kondisi aktif dan nonaktif dapat menekan frekuensi switching relay yang berlebihan sehingga sistem lebih stabil.

E. Kinerja Sistem pada Fermentasi Tempe 24 Jam

Pengujian keseluruhan dilakukan dengan membandingkan kualitas fermentasi tempe menggunakan inkubator IoT dan metode manual di suhu ruangan. Pengamatan dilakukan setiap empat jam selama 24 jam. Gambar 4 menampilkan visualisasi fisik tempe setelah menjalani proses fermentasi selama 24 jam di dalam inkubator.



Gambar 4. Hasil Fermentasi Selama 24 Jam

Tabel 6 menyajikan data hasil pengukuran dan perkembangan fisik fermentasi tempe.

Tabel 6. Pengujian Keseluruhan Sistem Selama Fermentasi 24 Jam

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Gas (ppm)	Perkembangan Fermentasi (Inkubator)
0	31,3	72	0,13	Kedelai lembap dan kekuningan
4	30,1	74	0,15	Embun merata pada pembungkus
8	30,6	71	0,16	Embun tetap, kedelai lembap
12	31,8	68	0,20	Kedelai memucat, mulai padat
16	35,9	58	0,25	Bagian tengah semakin menyatu
20	31,0	79	0,32	Jamur putih mulai menutupi permukaan
24	30,4	77	0,28	Permukaan tertutup miselium merata dan padat

Berdasarkan hasil observasi pada jam ke-16 (Tabel 6), tercatat peningkatan suhu sehingga mencapai 35,9 °C sementara kelembapan berada pada angka 58%. Kenaikan suhu melampaui ambang batas ideal (35 °C) ini disebabkan oleh reaksi eksotermis akibat tingginya aktivitas metabolisme kapang *Rhizopus oligosporus* saat memasuki fase pertumbuhan aktif yang berlangsung antara jam 12 hingga ke-18, respirasi mikroorganisme memecah karbohidrat dan zat gizi kedelai sehingga melepas kalor/energi panas secara signifikan ke dalam ruang inkubator [15,16]. Karena pada skenario awal kipas hanya dipicu oleh kondisi kelembapan (>80% RH), sistem tidak mengaktifkan kipas pendingin saat terjadi lonjakan suhu. Metabolisme ini terjadi. Hal ini menyebabkan suhu tertahan di atas 35 °C tanpa ada intervensi pendinginan. Keterbatasan ini menjadi dasar perbaikan logika kontrol overheat protection, di mana kipas diprogram untuk aktif tidak hanya berdasarkan kelembapan tinggi, tetapi juga ketika suhu terdeteksi melampaui ambang 35 °C.

F. Pembahasan

Hasil pengujian keseluruhan menunjukkan bahwa ekosistem IoT yang dibangun mampu menjawab permasalahan utama dalam proses fermentasi tempe. Integrasi sensor, aktuator, dan dashboard monitoring pada satu kesatuan sistem memungkinkan pengendalian parameter lingkungan dilakukan secara presisi dan berkelanjutan tanpa intervensi manual. Sensor DHT21 memberikan data akurat yang layak dijadikan basis pengambilan keputusan kontrol. Sensor MQ-135 mampu memantau perubahan konsentrasi gas amonia sebagai indikator awal potensi degradasi mutu, meskipun tingkat sensitivitasnya masih dapat ditingkatkan dengan sensor yang lebih spesifik.

Dari sisi rekayasa sistem, keterhubungan antara modul hardware dan dashboard pemantauan berbasis platform Blynk berhasil mempermudah aksesibilitas data secara real-time bagi produsen. Fokus keberhasilan sistem ini terletak pada keandalan integrasi hardware dan logika kendali otomatis berhisteresis yang mampu menjaga kestabilan mikroiklim inkubator secara mandiri.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain pengujian masih berskala laboratorium dan sensor MQ-135 tidak spesifik hanya untuk amonia. Pengembangan ke depannya dapat menambahkan fitur data logging jangka panjang dan notifikasi dini ketika parameter keluar dari normal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ekosistem IoT berupa dashboard monitoring dan sistem kontrol otomatis fermentasi tempe berbasis ESP32 berhasil dirancang dan diimplementasikan secara menyeluruh. Sistem mampu mengendalikan suhu ruang fermentasi pada rentang 30°C–35°C dan kelembapan 60%–80% RH secara otomatis dengan tingkat keberhasilan seluruh skenario pengujian fungsi aktuator sebesar 100%. Fitur monitoring gas amonia dengan sensor MQ-135 berhasil memantau perubahan konsentrasi gas dari 0,13 ppm hingga 0,32 ppm sebagai parameter pendukung pengamatan perkembangan fermentasi. Hasil uji coba fermentasi selama 24 jam menunjukkan sistem mampu menciptakan lingkungan fermentasi yang optimal, ditandai dengan pertumbuhan miselium yang lebih cepat dan merata serta tekstur tempe yang lebih padat dan kompak dibandingkan dengan metode fermentasi manual.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan penggunaan sensor gas yang lebih spesifik terhadap amonia, penambahan fitur penyimpanan data historis, notifikasi dini melalui aplikasi ketika parameter melebihi ambang batas, serta pengujian pada kapasitas produksi yang lebih besar untuk mengevaluasi konsistensi kinerja sistem dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis YM, AA, AS, FSJ mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya dan Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui DIPA Polsri dengan Nomor Kontrak 5337/PL6.2.1/LT/2026 sesuai SK Direktur Polsri Nomor 4697/PL6.4.2/SK/2026.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwianto, S. A., Meitiniarti, V. I., Binar, A., Sukmana, A., & Dewi, L. (2024). Penambahan Biji Chia (*Salvia hispanica* L.) pada Fermentasi Tempe Kedelai dalam Peningkatan Aktivitas Antioksidan dan Nilai Kesukaan. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 9(2), 155–163. <https://doi.org/10.24002/biota.v9i2.7828>.
- [2] W. P. Sari, V. Marcellina, dan T. V. Sabrina, “Pengaruh Mikroba dalam Proses Fermentasi Pembuatan Tempe,” *Jurnal Ilmiah dan Karya Mahasiswa*, vol. 2, no. 3, hal. 84–93, 2024.
- [3] I. W. Bayu, A. Whedana, dan T. D. Purwanto, “Rancang Bangun Alat Sistem Kontrol Otomatis pada Proses Fermentasi Tempe Berbasis Mikrokontroler,” *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, vol. 9, hal. 1–16, 2024.
- [4] I. Nakhoda, A. Soetedjo, dan P. O. S., “Rancang Bangun Alat Proses Fermentasi Kedelai Menggunakan Kendali Suhu dan Kelembapan untuk Produksi Tempe Skala Kecil,” *JASTEN: Jurnal Aplikasi Sains Teknologi Nasional*, vol. 1, no. 1, hal. 14–18, 2020.
- [5] I. Ilham, A. Habibi, S. Wirayoga, dan M. Huda, “Application of Fuzzy Logic for Android-Based Tempeh Fermentation Process Control and Monitoring,” *Indonesian Journal of Social Technology*, vol. 5, no. 12, hal. 5883–5894, 2024.
- [6] B. Gunawan, “Rancang Bangun Pengontrolan Suhu dan Kelembapan pada Proses Fermentasi Tempe Berbasis Internet of Things,” *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, hal. 168–173, 2020.
- [7] S. Ramadhan dan A. K. Hendrawan, “Perancangan Prototipe Alat Inkubator Fermentasi Berbasis Mikrokontroler Arduino untuk Meningkatkan Kualitas dan Efisiensi Produksi,” *Jurnal Optimasi Teknik Industri*, vol. 7, no. 2, hal. 68–77, 2025.
- [8] D. Erwanto, D. E. Yuliana, Y. P. Aprilia, A. Naofal, dan M. I. Wahyu, “Implementasi IoT Berbasis ESP32 untuk Pengaturan Ventilasi Ruang Kelas Secara Otomatis dan Efisien,” *Jurnal ELKON*, vol. 5, no. 1, hal. 70–77, 2025.
- [9] G. W. Pratomo, A. S. Puspiningrum, dan I. Ismail, “Implementasi Sistem Otomatisasi Sirkulasi Udara Menggunakan Fan Exhaust Berbasis Sensor DHT21 pada Vertikal Hidroponik,” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 5, hal. 656–663, 2025.
- [10] G. A. Pratama dan L. Nurpulaela, “Pengaruh Suhu pada Kinerja Sensor MQ-135 dalam Mendeteksi Gas CO₂,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 20, hal. 350–358, 2024.
- [11] P. U. Rakhmawati, “Analisis Komunikasi Platform Internet of Things Aplikasi Blynk,” *Seminar Nasional TEKNOKA*, vol. 9, hal. 40–46, 2024.
- [12] L. Maulana, K. Udoyono, dan E. Permana, “Implementasi Sistem Presensi Berbasis IoT (Internet of Things) Menggunakan Platform Blynk,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi STMIK Subang*, vol. 17, no. 1, hal. 14–29, 2024.
- [13] R. Alamsyah, E. Ryansyah, A. Y. Permana, dan R. Mufidah, “Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Logika Fuzzy dengan Teknologi Internet of Things Berbasis ESP8266,” *JITET: Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, hal. 862–868, 2024.
- [14] Kus Indrani Listyoningrum, Danise Yunaini Fenida, dan N. Hamidi, “Manfaatkan Flowchart untuk Mengoptimalkan Nilai Limbah Perusahaan,” *JIPM: Jurnal Informasi Pengabdian Masyarakat*, vol. 1, no. 4, hal. 100–112, 2023.
- [15] N. S. Rahayu, S. Sudarmadji, dan E. S. Rahayu, “Pola Perubahan Suhu dan Aktivitas Respirasi Kapang *Rhizopus oligosporus* Selama Fermentasi Tempe Kedelai,” *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, vol. 28, no. 1, hal. 42–50, 2017.
- [16] M. N. Handayani, A. Ruhimat, dan S. Nurjanah, “Karakteristik Termal dan Kinetika Pertumbuhan Miselium pada Bioprocess Fermentasi Tempe Skala Terkontrol,” *Jurnal JINoP (Jurnal Inovasi Pembelajaran dan Teknologi)*, vol. 7, no. 2, hal. 115–123, 2021.