

Sistem IoT Berbasis ESP32 untuk Penstabil Suhu Proses Fermentasi Keju Cheddar

Ivan Putra Pratama¹, Muhammad Wildan Akhyar², Sandi Yudha Prayogo³, Nadya Arum Pramesti⁴, Novita Kurnia Ningrum⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Informatika, Universitas Dian Nuswantoro

E-mail: ¹111202214498@mhs.dinus.ac.id, ²111202315075@mhs.dinus.ac.id,

³111202214692@mhs.dinus.ac.id, ⁴111202315469@mhs.dinus.ac.id,

⁵novita.kn@dsn.dinus.ac.id

Abstrak

Desa Nogosaren, Kecamatan Getasan, Kabupaten Semarang, merupakan sentra produksi susu sapi perah dengan hasil ± 17.010 liter per hari. Namun, sebagian besar susu hanya dijual dalam bentuk mentah dengan harga murah, sehingga menimbulkan keterbatasan nilai tambah dan potensi kerugian akibat susu cepat basi. Salah satu upaya peningkatan nilai tambah adalah pengolahan susu menjadi keju. Proses fermentasi keju membutuhkan kestabilan suhu dalam rentang 20–25 °C untuk menjaga kualitas dan konsistensi produk. Dalam penelitian ini dikembangkan sistem penstabil suhu berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, relay, dan LCD untuk pemantauan suhu secara real-time. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem dapat mengendalikan suhu sesuai batas yang ditentukan, dengan tingkat akurasi sensor cukup baik (error rata-rata 0,4–0,6 °C dibandingkan aplikasi HP). Sistem berhasil menyalakan dan mematikan penstabil suhu secara otomatis serta menampilkan data pada LCD dan platform IoT. Implementasi teknologi ini berpotensi membantu peternak dalam menjaga kualitas fermentasi keju, meningkatkan nilai tambah produk susu, dan memperkuat perekonomian lokal.

Kata kunci: IoT, fermentasi keju, keju, penstabil suhu, sensor suhu

Abstract

Nogosaren Village, located in Getasan District, Semarang Regency, is a dairy farming center producing approximately $\pm 17,010$ liters of milk per day. However, most of the milk is sold in raw form at low prices, resulting in limited added value and potential losses due to milk's short shelf life. One effort to increase added value is processing milk into cheese. The cheese fermentation process requires stable temperatures within the range of 20–25 °C to maintain product quality and consistency. In this study, a temperature stabilizer system based on the Internet of Things (IoT) was developed using an ESP32 microcontroller, DHT22 sensor, relay, and LCD for real-time temperature monitoring. The experimental results showed that the system could control the temperature according to the specified limits, with the sensor providing sufficient accuracy (average error of 0.4–0.6 °C compared to a mobile application). The system successfully activated and deactivated the temperature stabilizer automatically and displayed the data on the LCD and IoT platform. The implementation of this technology has the potential to help farmers maintain the quality of cheese fermentation, increase the added value of milk products, and strengthen the local economy.

Keywords: IoT, cheese fermentation, cheese, temperature stabilizer, temperature sensor

1. PENDAHULUAN

Desa Nogosaren, Kecamatan Getasan, Kabupaten Semarang, menghasilkan sekitar ± 17.010 liter susu sapi per hari. Namun, ± 5.100 liter di antaranya tidak termanfaatkan secara optimal karena sebagian besar hanya dijual mentah dengan harga rendah melalui KUD atau pengepul. Kondisi ini menimbulkan pemborosan dan rendahnya nilai tambah produk susu. Salah

satu solusi peningkatan nilai tambah adalah mengolah susu menjadi keju, yang memerlukan proses fermentasi dengan suhu stabil 20–25 °C agar bakteri asam laktat berkembang optimal dan kualitas keju konsisten [1][2].

Kontrol suhu yang presisi merupakan faktor kunci dalam proses fermentasi dan pematangan keju. Berbagai studi menekankan pentingnya pengendalian suhu dan kelembaban untuk mempertahankan cita rasa dan tekstur keju [3][4]. Computational Fluid Dynamics (CFD) bahkan telah dimanfaatkan untuk menjaga kestabilan ruang pematangan keju [5]. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa pemantauan fermentasi berbasis sensor dan sistem otomatis dapat menjaga kualitas produk pangan [5][6][7].

Kemajuan *Internet of Things* (IoT) semakin membuka peluang untuk pemantauan suhu secara real-time. IoT memungkinkan integrasi sensor, mikrokontroler, dan koneksi internet sehingga proses produksi pangan dapat dikendalikan jarak jauh [8][9][10]. Platform berbasis cloud, seperti Firebase, mampu merekam data suhu dan kelembaban secara kontinu, mendukung analisis dan pengambilan keputusan berbasis data [10][11].

Perangkat ESP32 menjadi salah satu pilihan populer karena memiliki modul Wifi bawaan, konsumsi daya rendah, dan kemudahan pemrograman, sehingga banyak digunakan pada sistem kontrol suhu fermentasi [12][13]. Sensor DHT22 juga terbukti memiliki akurasi yang baik untuk memantau suhu dan kelembaban [12]. Berbagai penelitian menunjukkan keberhasilan kombinasi ESP32 dan DHT22 dalam mengatur suhu fermentasi, baik untuk tempe, minuman tradisional, maupun produk susu [13].

Di sisi lain, arsitektur IoT berdaya rendah memungkinkan pemantauan berkelanjutan tanpa konsumsi energi tinggi, sehingga efisien untuk industri pangan skala kecil hingga menengah [14]. Domínguez *et al.* [15] secara khusus mengembangkan sistem IoT untuk mengontrol fermentasi dan pematangan keju artisanal, menunjukkan bahwa penerapan IoT mampu meningkatkan konsistensi kualitas keju dan efisiensi proses.

Meskipun teknologi ini telah banyak dikaji, penerapan sistem otomatis pengendalian suhu fermentasi keju di Desa Nogosaren belum tersedia. Akibatnya, mutu keju lokal tidak konsisten dan peluang peningkatan nilai tambah susu belum termanfaatkan maksimal. Oleh karena itu, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem penstabil suhu berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor DHT22, dilengkapi relay dan LCD, serta terhubung ke Firebase untuk pemantauan jarak jauh. Diharapkan sistem ini mampu menjaga kestabilan suhu fermentasi, meningkatkan kualitas keju, dan memperkuat perekonomian lokal berbasis teknologi.

2. METODE

Gambar 1 memperlihatkan alur penelitian pengembangan sistem penstabil suhu berbasis IoT, yang mencakup identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan pemrograman ESP32, serta uji coba dan evaluasi kinerja sistem. Penelitian ini diawali adanya observasi yang menghasilkan analisis masalah yang relevan dengan yang terjadi di masyarakat.

Masyarakat Desa Nogosaren memproduksi ± 17.010 liter susu per hari, namun sebagian besar dijual mentah dengan harga rendah sehingga nilai tambah kecil, berisiko basi, dan berpotensi merugikan peternak. Selain itu, kurangnya akses teknologi membuat suhu fermentasi keju (ideal 20–25 °C) tidak dapat dikendalikan. Karena itu, dibutuhkan sistem otomatis berbasis IoT yang mampu menstabilkan suhu secara real-time untuk meningkatkan kualitas keju, memperpanjang masa simpan, dan menambah pendapatan peternak.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.1 Analisis Kebutuhan

Proses input data melalui sensor suhu DHT22 terhubung dengan mikroontroler ESP32. Mikrokontroler sebagai pengendali utama sistem yang menghubungkan antara sensor sebagai perangkat input dengan perangkat output berupa lampu untuk menghantarkan panas dan kipas sebagai penghasil udara untuk mendinginkan box penyimpanan keju.

2.2 Perancangan Sistem

Sistem penstabil suhu fermentasi keju berbasis IoT dirancang agar suhu stabil dan kualitas keju konsisten. Komponen utama terdiri dari sensor DHT22 untuk membaca suhu, ESP32 sebagai pusat kendali, elemen pemanas 220 V yang aktif di bawah 20 °C dan mati pada 25 °C, LCD untuk tampilan lokal, serta Firebase untuk monitoring jarak jauh. Mekanismenya: sensor membaca suhu, ESP32 memproses data, mengendalikan pemanas sesuai rentang 20–25 °C, lalu menampilkan dan mengirim data ke LCD serta platform IoT secara real-time. Alur kerja sistem berbasis ESP32 adalah sensor DHT22 membaca suhu lalu diproses dan dikirim ke Firebase melalui WiFi untuk dipantau secara daring. Berdasarkan nilai suhu, ESP32 mengaktifkan pemanas jika <20 °C dan mematikannya jika ≥25 °C. Informasi suhu dan status pemanas juga ditampilkan pada LCD sehingga sistem dapat menjaga kestabilan fermentasi serta menyediakan pemantauan real-time baik lokal maupun web.

2.3 Implementasi

Tabel 1. Komponen yang Dipakai dan Fungsi Masing-Masing Komponen

No	Nama Komponen	Fungsi
1	ESP32 DevKit (Wi-Fi on-board)	Mikrokontroler untuk melakukan proses pengendalian logika
2	DHT22	Pendeteksi suhu dan kelembaban
3	Elemen penstabil suhu 220 V	Penstabil untuk menstabilkan suhu sesuai dengan kebutuhan
4	Relay 1 Channel AC	Memutus/menyambung arus listrik ke alat penstabil suhu sesuai dengan logika mikrokontroler
5	LCD 16x2	Menampilkan keadaan suhu dan keadaan penstabil suhu saat menyala/mati
6	Resistor 220Ω	Penghambat arus listrik ke LED agar tidak terlalu besar arus yang masuk ke LED
7	LED	Alat uji coba arus listrik dan logika mikrokontroler
8	Breadboard	Untuk memasang dan mengurutkan kabel-kabel agar lebih rapi

		dan tertata sehingga mudah untuk maintenance
9	Jumper (female to female, male to male, male to female)	Untuk menyambungkan antar alat

Tabel 1 memuat komponen utama sistem, yaitu ESP32 sebagai mikrokontroler dengan Wi-Fi on-board, sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan, elemen pemanas 220 V yang dikendalikan oleh relay, serta LCD 16×2 untuk menampilkan informasi secara lokal. Komponen pendukung berupa resistor 220Ω, LED, breadboard, dan jumper digunakan sebagai indikator, pengaman, dan perapihan rangkaian. Dengan kombinasi ini, sistem mampu menjaga suhu fermentasi secara otomatis dan menampilkan data secara real-time melalui LCD maupun platform IoT.

Rangkaian sistem menghubungkan ESP32 dengan sensor DHT22 (3V3 ke VCC, GND ke GND, GPIO 4 ke Data), serta dengan relay module (VIN 5V ke VCC, GND ke GND, GPIO 18 ke IN). Relay kemudian dihubungkan ke LED melalui resistor 220Ω sebagai indikator kerja. Selain itu, ESP32 juga terhubung ke LCD I2C 16×2 (3V3 ke VCC, GND ke GND, GPIO 21 ke SDA, dan GPIO 22 ke SCL). Rangkaian ini memungkinkan ESP32 membaca suhu, mengendalikan relay, memberi indikator LED, serta menampilkan data pada LCD.

Sensor DHT22 membaca suhu dan kelembapan, lalu data diproses untuk mengatur pemanas melalui relay. Sebagai indikator, dipasang LED dengan resistor 220Ω, sedangkan informasi suhu dan status pemanas ditampilkan melalui LCD 16×2. Rangkaian ini disusun rapi di breadboard agar mudah dirawat, sehingga sistem dapat bekerja terintegrasi mulai dari pembacaan sensor hingga pengiriman data ke cloud.

2.4 Uji Coba Sistem

Uji coba sistem dilakukan dengan menghubungkan ESP32, DHT22, relay, LED, dan LCD 16×2, di mana LED digunakan sebagai pengganti penstabil suhu. DHT22 membaca suhu real-time, datanya diproses oleh ESP32 dan ditampilkan di LCD. Sesuai logika program, jika suhu <20 °C maka relay aktif dan LED menyala, sedangkan pada 20–25 °C atau lebih relay nonaktif dan LED padam. Hasil pengujian menunjukkan semua komponen berfungsi baik: sensor akurat, relay responsif, LED sesuai kondisi, dan LCD menampilkan data jelas. Sistem terbukti mampu mengontrol perangkat otomatis berdasarkan perubahan suhu.



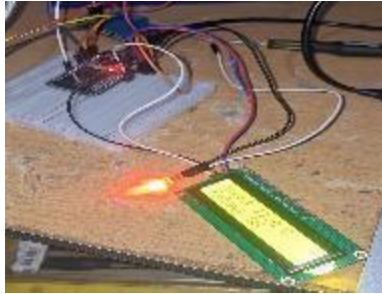
Gambar 2. Pemasangan ESP32, DHT22, dan LCD ke breadboard dan Uji coba layar LCD dan sensor suhu DHT22

Gambar 2 menunjukkan uji coba awal sistem pada breadboard, di mana ESP32 dihubungkan dengan sensor DHT22 dan LCD 16×2. Pengujian bertujuan memastikan koneksi perangkat keras dan komunikasi antara sensor, mikrokontroler, serta output berjalan baik. Hasilnya, LCD menampilkan suhu 31,10 °C dan kelembapan 72,80%, menandakan sensor mampu membaca data real-time dan mengirimkannya ke ESP32. Tahap ini penting sebelum integrasi dengan pemanas dan koneksi cloud, karena memastikan sistem dasar (sensor–mikrokontroler–LCD) berfungsi dengan benar.

Setelah uji coba, kuesioner singkat dibagikan kepada responden untuk menilai kemudahan penggunaan, keandalan sistem, manfaat bagi proses fermentasi, serta memberikan komentar dan saran perbaikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap persiapan, muncul kendala konfigurasi Arduino IDE untuk ESP32 karena driver dan library belum sesuai, sehingga perlu instalasi ulang. Kendala lain adalah kabel USB yang hanya bisa mengirim daya tanpa transfer data, sehingga diganti dengan kabel baru. Setelah masalah teratasi, dilakukan pemasangan ESP32, DHT22, LCD, relay, dan LED pada breadboard untuk uji coba awal.



Gambar 3. Tampilan LCD dan kondisi LED menyala saat suhu terdeteksi 11 °C.

Setelah dilakukan pemasangan sesuai dengan konsep awal dan dapat dilihat dari gambar di atas, LCD dapat menampilkan suhu yang dikirimkan oleh sensor suhu DHT22, lalu saat suhu dibawah 20 °C relay akan mematikan LED yang nantinya digantikan oleh penstabil suhu.

Berikut data yang didapatkan selama pengujian alat yang dibandingkan dengan suhu yang ada pada aplikasi handphone.

Tabel 2. Record perbandingan Suhu di DHT22 dan Suhu di HP

Tanggal	Pukul	Suhu (DHT22)	Suhu (HP)	Error
4 Agustus 2025	08.00	34.5	34.0	0.5
4 Agustus 2025	12.00	38.24	38.0	0.24
4 Agustus 2025	18.00	34.44	33.0	1.44
4 Agustus 2025	22.00	32.58	32.0	0.58
5 Agustus 2025	01.00	29.66	29.0	0.66
5 Agustus 2025	08.00	33.88	34.0	0.12
5 Agustus 2025	12.00	37.71	38.0	0.29
5 Agustus 2025	18.00	34.19	34.0	0.19
5 Agustus 2025	22.00	32.49	32.0	0.49
6 Agustus 2025	01.00	28.91	29.0	0.19
6 Agustus 2025	08.00	33.71	33.0	0.71
6 Agustus 2025	12.00	37.69	37.0	0.69
6 Agustus 2025	18.00	33.79	33.0	0.79
6 Agustus 2025	22.00	32.28	32.0	0.28
7 Agustus 2025	01.00	29.32	29.0	0.32
7 Agustus 2025	08.00	34.12	34.0	0.12
7 Agustus 2025	12.00	38.51	38.0	0.51

7 Agustus 2025	18.00	34.22	34.0	0.22
7 Agustus 2025	22.00	31.98	32	0.02
8 Agustus 2025	01.00	29.18	29.0	0.18

Seluruh komponen berfungsi sesuai rancangan. DHT22 membaca suhu real-time dan menampilkannya di LCD 16×2, relay merespons sinyal dari ESP32 dengan baik, dan LED menyala saat suhu <20 °C serta padam pada 20–25 °C atau lebih. Hal ini membuktikan logika pemrograman ESP32 berjalan sesuai konsep sistem.

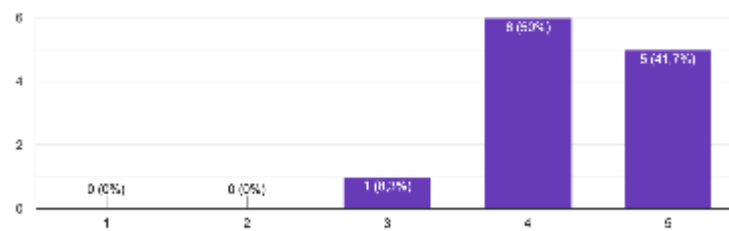
Kendala awal meliputi konfigurasi Arduino IDE yang belum sesuai sehingga perlu instalasi driver dan library tambahan, serta penggunaan kabel USB hanya untuk daya tanpa transfer data. Masalah ini teratasi setelah diganti dengan kabel yang mendukung transfer data.

Pengukuran suhu DHT22 dibandingkan dengan aplikasi HP menunjukkan error kecil, dengan nilai terendah 0,02 °C, tertinggi 1,44 °C, dan rata-rata 0,4–0,6 °C. Tingkat akurasi ini masih dapat diterima untuk monitoring suhu fermentasi.

Uji coba menunjukkan sistem stabil sesuai rentang suhu. Pada 11 °C relay aktif dan LED menyala, sedangkan pada 25 °C relay nonaktif dan LED padam, menandakan kendali berjalan sesuai program.

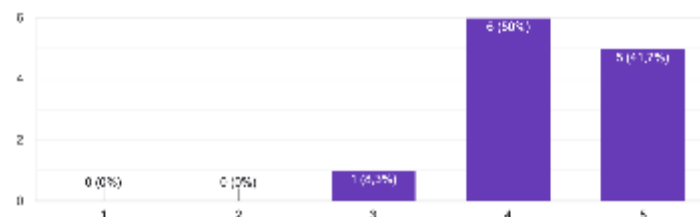
Dengan akurasi sensor dan kontrol yang stabil, sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengganti LED menjadi penstabil suhu nyata, serta diintegrasikan dengan IoT agar data dapat dipantau jarak jauh melalui smartphone atau komputer.

Alat ini mudah dioperasikan dan dipahami cara kerjanya.
12 jawaban



Gambar 4. Diagram Hasil pertanyaan: Alat ini mudah dioperasikan dan dipahami cara kerjanya.

Informasi suhu yang ditampilkan di LCD mudah dibaca dan dimengerti.
12 jawaban



Gambar 5. Diagram Hasil pertanyaan: Informasi suhu yang ditampilkan di LCD mudah dibaca dan dimengerti.



Gambar 6. Diagram Hasil pertanyaan: Selama uji coba, sistem bekerja stabil dan responsif terhadap perubahan suhu.



Gambar 7. Diagram Hasil pertanyaan: Alat ini bermanfaat untuk menjaga kualitas fermentasi keju.



Gambar 8. Diagram Hasil pertanyaan: Saya merasa alat ini perlu dikembangkan lebih lanjut

Berdasarkan hasil kuesioner dari 12 responden (skala 1 = sangat tidak setuju, 5 = sangat setuju), mayoritas menilai sistem mudah dioperasikan dan dipahami, dengan 50 % memberikan skor 4 dan 41,7 % skor 5. Kejelasan tampilan LCD juga dinilai baik, ditunjukkan oleh 50 % responden memberi skor 4 dan 41,7 % skor 5. Stabilitas dan respons sistem terhadap perubahan suhu memperoleh penilaian tinggi, yaitu 75 % pada skor 4 dan 25 % pada skor 5. Namun, persepsi manfaat alat khusus untuk menjaga kualitas fermentasi keju masih beragam, dengan 58,3 % memberikan skor 2, 25 % skor 3, dan 16,7 % skor 4. Sementara itu, 66,7 % responden memberi skor 5 dan 33,3 % skor 4 pada pernyataan perlunya pengembangan lebih lanjut, menunjukkan dukungan kuat terhadap peningkatan fitur dan pemanfaatan sistem di masa mendatang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem penstabil suhu berbasis IoT dengan ESP32 berhasil dirangkai dan diimplementasikan sesuai rancangan awal. Sensor DHT22 mampu membaca suhu secara real-

time dengan tingkat akurasi yang baik, dengan rata-rata error sekitar 0,4–0,6 °C, sedangkan relay merespons perubahan suhu dengan jeda singkat, di mana LED menyala pada suhu di bawah 20 °C dan padam pada suhu 20–25 °C atau lebih. Hasil uji coba menunjukkan logika pemrograman berjalan sesuai harapan sehingga sistem dapat menjaga kestabilan suhu untuk mendukung proses fermentasi keju. Evaluasi kuesioner dari 12 responden menguatkan temuan teknis tersebut: 91,7 % menilai alat mudah dioperasikan dan 91,7 % menilai tampilan LCD jelas, sementara 100 % responden menilai sistem stabil dan responsif. Namun, persepsi manfaat spesifik bagi fermentasi keju masih beragam, dengan 58,3 % memberikan skor rendah, yang mengindikasikan perlunya sosialisasi atau pengujian lebih lanjut di proses produksi nyata. Sebanyak 66,7 % responden sangat mendukung pengembangan fitur tambahan, menandakan potensi penerimaan yang baik apabila sistem terus ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Johnson, “Mesophilic and thermophilic cultures used in traditional cheesemaking,” *Microbiol. Spectr.*, vol. 1, pp. 1–12, 2013, doi: 10.1128/microbiolspec.cm-0004-2012.
- [2] X. Zheng, “A Review on General Cheese Processing Technology and Key Control Points,” *Foods*, vol. 10, no. 8, p. 1768, Aug. 2021, doi: 10.3390/foods10081768.
- [3] N. Alvarenga, J. Martins, J. Caeiro, J. Garcia, J. Pássaro, L. Coelho, M. T. Santos, C. Lampreia, A. Martins, and J. Dias, “Applying Computational Fluid Dynamics in the Development of Smart Ripening Rooms for Traditional Cheeses,” *Foods*, vol. 10, no. 8, p. 1716, Aug. 2021, doi: 10.3390/foods10081716.
- [4] A. M. Alhelli, I. A. Basry, R. A. Khalaf, and N. A. Al-Dulaimi, “Optimizing the Acceleration of Cheddar Cheese Ripening Using Proteolytic Enzymes and Adjunct Cultures,” *Foods*, vol. 10, no. 3, p. 574, Mar. 2021, doi: 10.3390/foods10030574.
- [5] W. Musa, I. Hidayat, S. Alam, B. Asmara, and A. Tolago, “Pengontrolan energi panas dan kelembaban menggunakan sensor DHT22 dan ESP32 pada proses fermentasi tempe gembus,” *Journal of Renewable Energy Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 50–55, 2024, doi: 10.56190/jree.v2i1.33.
- [6] G. A. Rohman and A. R. Insain, “Internet of Things Based Automation of Temperature and Humidity Control in Broiler Chicken Coops,” *MALCOM: Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 558–565, Apr. 2025.
- [7] A. K. Singh, P. Patel, and R. Tiwari, “Smart IoT-Based Temperature and Humidity Control for Fermentation Chambers,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 18, pp. 17221–17229, Sept. 2022, doi: 10.1109/JIOT.2022.3187654.
- [8] I. Adeleke, “Internet of Things (IoT) in the Food Fermentation Process: A Bibliometric Review,” *Journal of Food Process Engineering*, vol. 46, no. 2, p. e14321, Apr. 2023, doi: 10.1111/jfpe.14321.
- [9] H. S. Lee and J. W. Park, “Real-Time Dairy Fermentation Monitoring Using ESP32 and Cloud Dashboard,” *Sensors*, vol. 22, no. 14, p. 5302, July 2022, doi: 10.3390/s22145302.
- [10] M. R. Uddin, M. A. Hossain, and T. K. Roy, “Cloud-Integrated IoT System for Temperature Regulation in Food Processing,” *Journal of Food Engineering*, vol. 343, p. 111297, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2023.111297.
- [11] R. Santos, “ESP32/ESP8266: Firebase Data Logging Web App (Gauges and Charts),” *Random Nerd Tutorials*, 2021. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-esp8266-firebase-gauges-charts/>. [Accessed: Sep. 04, 2025].
- [12] D. Y. Yulizar, A. Pranolo, A. Nurcahyo, and S. A. Putra, “Performance Analysis Comparison of DHT11, DHT22 and DS18B20 as Temperature Measurement,” in *Proc. Int. Conf. on Engineering and Applied Science (InCEAS 2023)*, Atlantis Press, 2023, pp. 1–6, doi: 10.2991/125989928.
- [13] N. F. Rahman, L. Santoso, and M. D. Akbar, “Implementation of DHT22 and ESP32 for Smart Fermentation of Traditional Beverages,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 31, no. 1, pp. 12–19, Jan. 2024, doi: 10.11591/ijeecs.v31.i1.pp12-19.

- [14] R. K. Gupta and V. Sharma, "Low-Power IoT Architecture for Continuous Temperature Monitoring in Food Supply Chains," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 82055–82064, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3190059.
- [15] P. Domínguez, C. G. Acevedo, and F. Valenzuela, "Smart Fermentation and Ripening Control in Artisanal Cheese Production Using IoT," *Food Control*, vol. 157, p. 110046, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.foodcont.2024.110046.