

Rancang Bangun Sistem Fermentasi Tempe Gambus Otomatis Berbasis Atmega2560 dan Sensor DHT22

Riyanti Santika^{1*}, Fahrur Rozi², Ahmad Syamsudin³, Dedi Nugroho, S.T., M.T.⁴

^{1,2,3,4} Teknik Elektro; Universitas Islam Sultan Agung; Jl. Kaligawe Raya No. Km 4; Semarang 50112, Indonesia; Telp: (024)6583584

Keywords:

Tempe gambus;
AtMega2560;
DHT22;
Temperature and humidity;
Automatic Fermentation

Correspondent Email:

riyantisantika334@std.unissula.ac.id

Abstrak. Proses fermentasi tempe gambus secara konvensional pada skala UMKM sering terkendala oleh ketidakstabilan suhu dan kelembaban, terutama saat musim hujan. Hal ini menyebabkan fermentasi berlangsung lebih lama dan menurunkan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan merancang sistem otomatis berbasis Arduino Mega2560 untuk mengendalikan suhu dan kelembaban secara presisi. Sistem menggunakan sensor DHT22 sebagai pembaca suhu dan kelembaban secara real-time, serta aktuator berupa heater PTC, humidifier, dan fan yang dikendalikan melalui logika histeresis dan metode moving average. Sistem diuji selama fermentasi tempe berlangsung ± 36 jam. Hasil menunjukkan sistem mampu menjaga suhu $30\text{--}37\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $65\text{--}75\%$ RH secara stabil. Waktu fermentasi berhasil dipercepat menjadi ± 24 jam tanpa menurunkan kualitas. Sistem ini mudah dioperasikan oleh pelaku UMKM dan efektif menjaga kondisi optimal selama proses fermentasi. Inovasi ini menjadi solusi tepat guna dalam modernisasi proses produksi pangan tradisional dan mendukung peningkatan produktivitas UMKM.



Copyright © [JPI](#) (Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung).

Abstract. The traditional fermentation process of tempe gambus in MSMEs often faces issues with unstable temperature and humidity, especially during the rainy season. This condition prolongs fermentation time and affects product quality. This study aims to design an automatic system using the Arduino Mega2560 to control temperature and humidity more precisely. The system employs a DHT22 sensor for real-time measurement, with actuators including a PTC heater, humidifier, and fans, managed through hysteresis logic and a moving average method. The system was tested during a ± 36 -hour fermentation cycle. Results indicate that it successfully maintains temperature within $30\text{--}37\text{ }^{\circ}\text{C}$ and humidity within $65\text{--}75\%$ RH. Fermentation time was shortened to approximately 24 hours without compromising product quality. The system is simple to operate and effective in maintaining optimal fermentation conditions. This innovation presents a practical and low-cost solution to improve productivity and consistency in traditional food fermentation, especially for MSMEs seeking technological support to enhance efficiency.

1. PENDAHULUAN

Tempe gambus merupakan salah satu produk makanan fermentasi tradisional yang berbahan dasar ampas tahu [1]. Produk ini menjadi alternatif olahan protein nabati yang terjangkau dan banyak dikembangkan oleh

pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) [2], khususnya di wilayah pedesaan seperti Desa Sugihmanik, Kabupaten Grobogan. Produk ini memiliki nilai ekonomi dan gizi tinggi, namun proses produksinya masih mengandalkan metode tradisional pada

tahap fermentasi. kendala utama berupa ketergantungan terhadap kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembaban yang tidak stabil, terutama saat musim hujan [3]. Ketika suhu lingkungan menjadi dingin dan kelembaban tinggi, proses fermentasi berlangsung lebih lama, yaitu antara 36 hingga 48 jam, dan sering menghasilkan produk dengan kualitas yang tidak seragam. Ketidakteraturan ini juga berdampak pada penurunan produktivitas dan peningkatan risiko kegagalan produk hingga 10% per hari.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem otomatisasi fermentasi berbasis mikrokontroler dengan hasil cukup efektif dalam menjaga suhu dan kelembaban ruang inkubasi. Contohnya, penelitian oleh Bayu AW dan Purwanto (2024) mengembangkan alat inkubator tempe berbasis Arduino Uno dan sensor DHT11 dengan metode kontrol histeresis, yang mampu menjaga suhu fermentasi pada kisaran $\pm 35^{\circ}\text{C}$ dan mempercepat proses fermentasi hingga 10 jam lebih cepat dibanding metode konvensional [4]. Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan dari sisi akurasi sensor, karena DHT11 memiliki toleransi kesalahan yang tinggi hingga $\pm 5\%$ RH untuk kelembaban dan $\pm 2^{\circ}\text{C}$ untuk suhu, sehingga tidak cocok untuk kontrol presisi dalam lingkungan yang dinamis.

Penelitian lain oleh R. Yunas dan A. Basrah (2020) menggunakan pendekatan kontrol PID berbasis Arduino untuk mengatur suhu dalam proses fermentasi tempe [5]. Sistem ini mampu menghasilkan kontrol suhu yang lebih stabil, namun memerlukan penyetelan parameter PID yang kompleks, serta pengetahuan dasar tentang sistem kendali, yang sulit diterapkan oleh pelaku UMKM di daerah pedesaan tanpa latar belakang teknis.

Di sisi lain, pendekatan berbasis *Internet of Things* (IoT) dikembangkan oleh Novani et al. (2024) menggunakan NodeMCU dan *Firebase* untuk memantau suhu dan kelembaban fermentasi secara *real-time* melalui aplikasi *smartphone* [6]. Meskipun sistem ini memberikan kemudahan monitoring dari jarak jauh dan pencatatan data otomatis, penggunaannya sangat bergantung pada koneksi internet yang stabil, serta pemahaman terhadap integrasi perangkat lunak dan perangkat keras. Ini menjadi kendala bagi

pelaku UMKM di daerah terpencil yang belum memiliki infrastruktur digital yang memadai.

Dengan demikian, tantangan utama dalam pengembangan sistem fermentasi otomatis bukan hanya pada keberhasilan fungsional, tetapi juga pada keterjangkauan teknologi, kemudahan penggunaan, dan relevansi terhadap kebutuhan nyata di lapangan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sistem yang mengedepankan kesederhanaan, presisi, dan efisiensi energi, tanpa mengorbankan kemudahan dalam instalasi dan operasional oleh pelaku UMKM.

Penelitian ini hadir sebagai solusi praktis melalui penerapan sistem otomatis berbasis Atmega2560 dengan pengendalian sederhana, presisi tinggi, dan biaya rendah. Fokus utama adalah menciptakan sistem yang kompatibel dengan kondisi dan keterbatasan pelaku UMKM, namun tetap mampu menjaga kestabilan suhu dan kelembaban ruang fermentasi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Fermentasi Tempe Gambus

Tempe gambus merupakan hasil fermentasi dari ampas tahu yang melibatkan pertumbuhan kapang *Rhizopus* sp. Proses ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban lingkungan [3]. Pada suhu rendah atau kelembaban tidak stabil, proses fermentasi menjadi lebih lambat dan hasil produk kurang optimal. Untuk memperoleh hasil yang baik, suhu ideal untuk fermentasi tempe berada pada kisaran $30\text{--}37^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif antara $65\text{--}75\%$ RH. Fluktuasi suhu dan kelembaban dapat memperlambat fermentasi dan menghasilkan produk dengan tekstur tidak merata serta risiko kontaminasi mikroba lain [5] [6].

2.2. Sistem Kendali Otomatis Suhu dan Kelembaban

Pengendalian suhu dan kelembaban pada proses fermentasi tempe dapat dilakukan melalui sistem kendali otomatis berbasis mikrokontroler. Arduino Mega 2560 merupakan salah satu platform populer dalam pengembangan sistem kendali karena memiliki jumlah pin *input/output* yang lebih banyak dan memori program lebih besar [4], sehingga cocok untuk sistem yang mengontrol beberapa

aktuator sekaligus. Menurut Fadlilah et al. (2021), mikrokontroler Arduino Mega efektif digunakan dalam proyek sistem inkubator dengan beberapa perangkat kendali seperti pemanas, kipas, dan pelembab [6].

Penerapan sistem kendali otomatis berbasis sensor sangat penting untuk menjaga kestabilan parameter proses dalam aplikasi industri, karena dapat meningkatkan konsistensi hasil dan efisiensi operasional secara signifikan [7]. Untuk menjaga kestabilan parameter lingkungan, pendekatan logika kendali seperti histeresis banyak digunakan karena lebih sederhana dan cukup andal dibanding kendali PID dalam kasus lingkungan yang tidak terlalu kompleks. Sistem histeresis menetapkan batas atas dan bawah (*upper-lower limit*) untuk mencegah *switching* yang terlalu sering, sehingga memperpanjang umur aktuator dan menghemat energi. Penggunaan logika histeresis mampu menjaga suhu inkubator tetap stabil dalam kisaran $\pm 1^\circ\text{C}$ dengan konsumsi daya lebih rendah dibanding sistem PID.

2.3. Mikrokontroler Arduino Mega2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega2560 yang dirancang untuk aplikasi dengan kebutuhan pin *input/output* yang banyak. Papan ini memiliki 54 pin digital I/O (15 di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 *input* analog, dan 4 port komunikasi serial (UART), menjadikannya cocok untuk sistem kontrol kompleks seperti ruang fermentasi otomatis dengan multi-aktuator dan multi-sensor [8].

Arduino Mega 2560 menjadi pilihan tepat untuk sistem kendali lingkungan karena mampu menangani lebih banyak perangkat dibanding Arduino Uno. Dalam penelitian ini, Arduino Mega digunakan untuk mengatur logika histeresis, pembacaan sensor DHT22 [9], serta kontrol *ON/OFF* perangkat pemanas, *humidifier*, *fan* internal, dan *fan* eksternal secara simultan. Fleksibilitas pin dan kompatibilitas software Arduino IDE menjadikan platform ini sangat ideal untuk aplikasi di lingkungan UMKM yang mengutamakan kemudahan perakitan dan pemrograman.

2.4. Sensor Suhu dan Kelembaban

Sensor DHT22 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban udara secara digital dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Sensor DHT22 digunakan dalam penelitian ini

sebagai alat ukur suhu dan kelembaban karena memiliki akurasi yang lebih tinggi dibanding DHT11. Sensor ini memiliki rentang pengukuran suhu antara -40°C hingga $+80^\circ\text{C}$ dengan akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$, serta rentang kelembaban 0–100% RH dengan akurasi $\pm 2\text{--}5\%$ RH [10]. Dari hasil beberapa pengujian dan spesifikasinya, DHT22 lebih stabil dan sensitif terhadap perubahan lingkungan, menjadikannya pilihan ideal untuk ruang fermentasi makanan [11].

2.5. Aktuator: Heater PTC, Humidifier, dan Fan

Aktuator utama dalam sistem ini meliputi pemanas tipe *Positive Temperature Coefficient* (PTC), pelembab udara (*humidifier*), dan kipas mini (*fan in* dan *fan out*). Heater PTC memiliki keunggulan dari sisi keamanan karena daya pemanasannya menurun secara otomatis saat suhu meningkat, sehingga menghindari *overheating* [12]. Dari karakteristiknya, Heater PTC cocok digunakan untuk sistem inkubasi yang membutuhkan suhu stabil dalam waktu lama. *Humidifier* digunakan untuk menambah kelembaban ruang fermentasi yang bekerja dengan cara menghasilkan kabut halus melalui getaran frekuensi tinggi [13]. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan elemen piezoelektrik yang bergetar pada frekuensi ultrasonik, menyebabkan air di permukaan berubah menjadi partikel mikro (kabut) yang kemudian tersebar ke udara [14].

Sementara dua jenis kipas, yang umumnya digunakan sebagai pendinginan perangkat elektronik atau sirkulasi udara dalam ruang tertutup [15], dalam sistem digunakan untuk sirkulasi internal dan pembuangan udara keluar ruangan saat suhu atau kelembaban melebihi batas atas. Selain aktuator ada juga LCD 20x4 sebagai *otput*. LCD ini biasanya dikendalikan melalui komunikasi parallel (4-bit atau 8-bit mode) menggunakan library seperti *LiquidCrystal.h* dalam Arduino IDE, dan dapat dihubungkan lebih efisien dengan I2C *converter* untuk menghemat penggunaan pin *input* atau *output* pada mikrokontroler [16].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem fermentasi tempe gambus otomatis berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang mampu

menjaga suhu dan kelembaban secara stabil agar fermentasi berlangsung lebih cepat dan efisien. Metode penelitian ini meliputi tahap perancangan sistem, teknik pengumpulan data, implementasi sistem, dan evaluasi performa.

3.1. Rancangan Sistem dan Desain

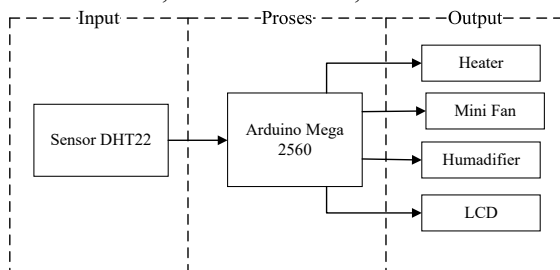
Penelitian ini menerapkan metode pengembangan sistem rekayasa terapan, yang terdiri dari proses analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan lunak, implementasi, serta pengujian fungsional sistem. Sistem dikembangkan untuk mendukung proses fermentasi tempe gambus secara otomatis, dengan target parameter lingkungan berupa suhu 30–37 °C dan kelembaban 65–75% RH selama 36 jam fermentasi.

3.1.1. Desain Sistem

Sistem dikembangkan menggunakan pendekatan kontrol otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560, sensor DHT22 untuk pengukuran suhu dan kelembaban, serta aktuator seperti *heater* PTC, *humidifier*, dan dua *mini fan*. Komponen-komponen ini dihubungkan melalui modul relay 4 channel dan dikontrol menggunakan logika pemrograman berbasis *if-else* dengan penambahan metode *moving average* dan histeresis.

3.1.2. Diagram Blok Sistem

Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu unit *input* (sensor), unit pengolah (mikrokontroler), dan unit *output* (aktuator). Diagram blok sistem menggambarkan integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan aktuator.

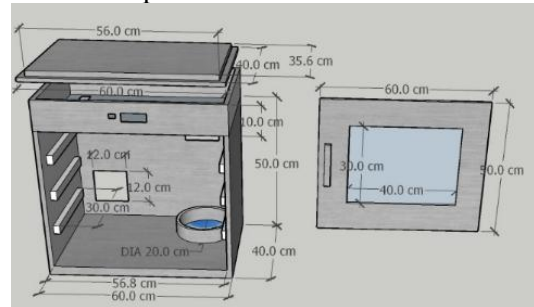


Gambar 1 Diagram blok usulan desain sistem

- *Input*: Sensor DHT22 yang membaca suhu dan kelembaban setiap 2 detik.
- *Proses*: Arduino Mega2560 memproses data dan menentukan aksi terhadap aktuator.
- *Output*: Aktuator (*heater*, *humidifier*, *fan in*, *fan out*) dan LCD 20x4 sebagai media tampilan data secara *real-time*.

3.1.3. Desain Fisik dan Dimensi

Alat dirancang dengan dimensi 60×40×50 cm berbahan ACP dan rangka hollow. Sistem ini tidak memerlukan koneksi internet dan menggunakan adaptor 12V dan 24V DC untuk seluruh komponen.

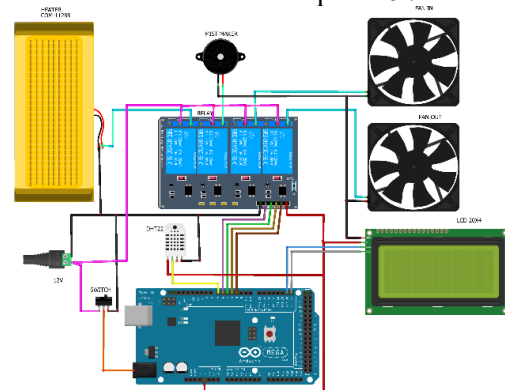


Gambar 2 Desain 3D sistem

3.1.4. Perancangan Perangkat keras

Perangkat keras sistem dirancang agar dapat bekerja secara modular. Sensor DHT22 dipasang di tengah untuk membaca kondisi lingkungan aktual. Sementara itu, *heater* PTC dan *humidifier* diletakkan di sisi bawah ruang fermentasi agar distribusi panas dan uap merata ke seluruh ruangan. Kipas *fan-in* digunakan untuk membantu sirkulasi udara panas/beruap ke seluruh ruang, dan *fan-out* digunakan untuk membuang udara berlebih apabila suhu atau kelembaban melebihi batas atas.

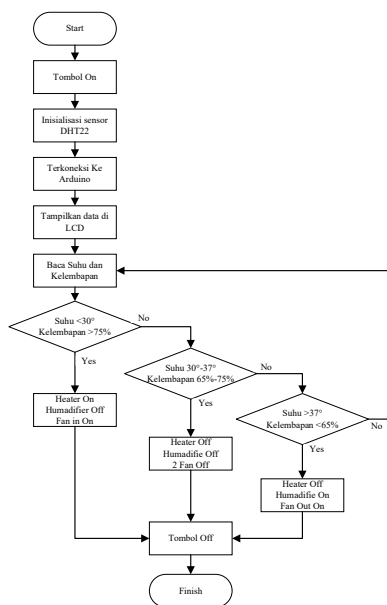
Semua aktuator dikendalikan melalui relay optocoupler 4-channel, dengan sumber daya utama berasal dari Adaptor 12 DAN 24V VC. Sistem dilengkapi dengan *switch* untuk keamanan dan kemudahan operasional.



Gambar 3 Skema rangkaian elektronik sistem

3.1.5. Perancangan Perangkat Lunak

Program sistem dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman C++ melalui Arduino IDE. Untuk memperjelas logika pengendalian suhu dan kelembaban, berikut ditampilkan *flowchart* dasar sistem secara keseluruhan.



Gambar 4 Flowchart rancangan sistem

Logika sistem dirancang menggunakan logika kendali berbasis histeresis dan metode *moving average* untuk mereduksi fluktuasi data sensor, sehingga aktuator tidak bekerja secara berlebihan (*switching* tinggi). Data suhu dan kelembaban yang diterima dari DHT22 diproses terlebih dahulu dengan perhitungan rata-rata bergerak pada window 5 data terakhir. Setelah itu, data dibandingkan dengan rentang batas atas dan bawah yang ditentukan. Logika lengkapnya sebagai berikut:

Tabel 1 Logika pengendalian aktuator

First Run	< 35.0°C	Heater ON
	< 67.0% RH	Humidifier ON
	> 37.0°C & > 67.0% RH	Fan out ON
Kendali Suhu	< 33.0°C	Heater ON
	> 37.0°C	Heater OFF
	> 39.0°C	Fan out ON
	< 38.0°C	Fan out OFF
Kendali Kelembaban	< 61.0% RH	Humidifier ON
	> 67.0% RH	Humidifier OFF
	> 73%	Fan out ON
	< 67%	Fan out OFF
Distribusi Udara	Heater/ Humidifier ON	Fan Sirkulasi ON

3.2. Teknik Pengumpulan Data

3.2.1. Pengamatan Langsung

Data suhu dan kelembaban dikumpulkan langsung dari tampilan LCD 20x4 yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino Mega2560. Data dibaca dan dicatat secara

manual setiap 15–30 menit selama proses pengujian berlangsung, baik pada tahap uji coba awal maupun selama fermentasi aktif.

3.2.2. Pengujian dan Validasi Sensor

Sensor DHT22 yang digunakan dalam sistem divalidasi dengan cara membandingkan hasil bacaannya terhadap alat ukur HTC-1 (termometer dan hygrometer digital). Hasil pembacaan dari kedua alat dicatat secara bersamaan pada waktu yang sama, kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi *konsistensi* dan akurasi sensor.

3.2.3. Dokumentasi Proses Fermentasi

Proses fermentasi diuji dalam dua tahap, dan pengambilan gambar dan pencatatan dilakukan secara berkala untuk mendukung dokumentasi visual.

- Tahap 1 (Pengujian Awal Tanpa Bahan): Sistem dijalankan tanpa bahan tempe gambus selama ± 5 jam untuk mengamati kestabilan suhu dan kelembaban secara mandiri.
- Tahap 2 (Fermentasi Penuh): Sistem diuji menggunakan bahan tempe gambus selama ± 36 jam. Pengamatan dilakukan terhadap parameter suhu, kelembaban, serta kondisi visual tempe pada setiap interval 6 jam.

3.3. Teknik Analisis Data

3.3.1. Evaluasi Stabilitas Sistem

Stabilitas suhu dan kelembaban dievaluasi secara manual berdasarkan catatan pembacaan sensor selama proses uji. Kinerja dianggap stabil apabila nilai suhu dan kelembaban selama waktu fermentasi berada dalam rentang ideal (30–37 °C untuk suhu dan 65–75% RH untuk kelembaban).

3.3.2. Penilaian Respons Sistem

Respons sistem diuji dengan mencatat waktu antara perubahan kondisi (misalnya suhu rendah) dengan aktifnya aktuator (*heater* atau *fan*). Respons dinilai baik jika aktuator bekerja dalam waktu kurang dari 2 detik setelah kondisi ekstrem terdeteksi.

3.3.3. Perbandingan Kinerja Konvensional

Hasil fermentasi menggunakan alat otomatis dibandingkan dengan metode konvensional berdasarkan durasi fermentasi, warna miselium, dan tekstur tempe. Penilaian bersifat visual dan didukung dokumentasi foto untuk melihat

perkembangan kematangan jamur pada permukaan tempe.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain Fisik dan Implementasi Alat

Alat fermentasi otomatis tempe gembus dirancang dalam dua unit fisik terpisah: kotak utama fermentasi dan panel kontrol, yang terintegrasi secara fungsional namun modular. Dimensi aktual ruang fermentasi adalah $72 \times 62 \times 62 \text{ cm}^3$ dengan material *Aluminium Composite Panel* (ACP) dan rangka besi hollow, dipilih karena ringan, tahan panas, dan mudah dibersihkan. Ruang ini dilengkapi dengan tiga rak tempat bahan fermentasi, serta empat kaki penyangga setinggi 15 cm.

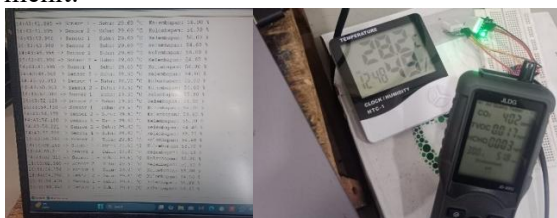


Gambar 5 Hasil Jadi Sistem Fermentasi Otomatis Tempe Gembus

Dilengkapi dengan panel kontrol berukuran $20 \times 12 \times 5 \text{ cm}$, terbuat dari plastik ABS, dipasang di bagian atas luar ruang fermentasi untuk memudahkan pemantauan dan meminimalisir paparan suhu dan kelembapan tinggi. Di dalamnya terdapat Arduino Mega 2560, relay *optocoupler* 4-channel, LCD I2C 20×4 , serta *switching power supply* 12V dan adaptor 24V.

4.1.1. Pengujian Awal Sensor DHT22

Pengujian awal dilakukan untuk memverifikasi akurasi dan kestabilan sensor DHT22 sebelum digunakan pada sistem utama. Dua unit DHT22 diuji bersamaan dengan alat pembanding HTC-1 dan JD3002 dalam ruangan dengan kondisi lingkungan stabil selama ± 32 menit.

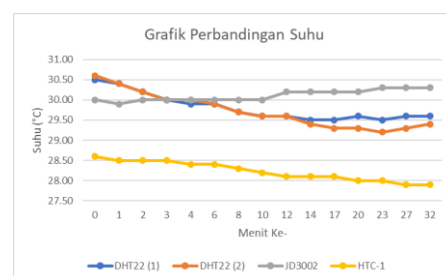


Gambar 6 Pengujian Sensor DHT22

Ketiga jenis alat bukan merupakan alat ukur bersertifikasi resmi maupun alat uji standard laboratorium, sehingga data yang diperoleh adalah bersifat komparatif antar alat, bukan terhadap nilai absolut yang tervalidasi secara industri. Berdasarkan tabel, DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu yang lebih luas yaitu -40 hingga 80°C dengan resolusi 0.1°C , dibandingkan dengan HTC-1 yang hanya mampu mengukur suhu -10 hingga 50°C , dan JD3002 dari 0 hingga 50°C . Dari sisi kelembaban, DHT22 juga lebih sensitif dengan rentang penuh $0-100\%$ RH dengan resolusi sama dengan JD3002 yaitu 0.1% RH, sementara HTC-1 terbatas pada $10-90\%$ RH dengan resolusi 1% RH, dan JD3002 memiliki karakteristik yang hampir serupa. Meskipun tidak diperuntukkan untuk pengujian presisi tinggi, ketiga alat tersebut masih cukup andal untuk pemantauan tren suhu dan kelembaban dalam skala aplikasi praktis seperti sistem fermentasi. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban direkap dalam Tabel 2 dan 3, serta ditampilkan dalam grafik pada Gambar 7 dan 8.

Tabel 2 Hasil pengukuran pembacaan suhu

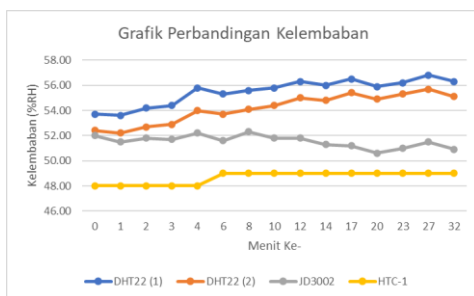
Menit ke-	Nilai Suhu ($^\circ\text{C}$)			
	DHT22 (1)	DHT22 (2)	JD3002	HTC-1
0	30.50	30.60	30.00	28.60
1	30.40	30.40	29.90	28.50
2	30.20	30.20	30.00	28.50
3	30.00	30.00	30.00	28.50
4	29.90	30.00	30.00	28.40
6	29.90	29.90	30.00	28.40
8	29.70	29.70	30.00	28.30
10	29.60	29.60	30.00	28.20
12	29.60	29.60	30.20	28.10
14	29.50	29.40	30.20	28.10
17	29.50	29.30	30.20	28.10
20	29.60	29.30	30.20	28.00
23	29.50	29.20	30.30	28.00
27	29.60	29.30	30.30	27.90
32	29.60	29.40	30.30	27.90
AVG	29.81	29.73	30.11	28.23



Gambar 7 Perbandingan pembacaan suhu

Tabel 3 Hasil pengukuran pembacaan kelembaban

Waktu (menit)	Nilai Suhu (°C)			
	DHT22 (1)	DHT22 (2)	JD3002	HTC-1
0	55.60	54.10	52.30	49.00
1	55.80	54.40	51.80	49.00
2	56.30	55.00	51.80	49.00
3	56.00	54.80	51.30	49.00
4	56.50	55.40	51.20	49.00
6	55.90	54.90	50.60	49.00
8	56.20	55.30	51.00	49.00
10	56.80	55.70	51.50	49.00
12	56.30	55.10	50.90	49.00
14	55.49	54.17	51.55	48.67
17	55.60	54.10	52.30	49.00
20	55.80	54.40	51.80	49.00
23	56.30	55.00	51.80	49.00
27	56.00	54.80	51.30	49.00
32	56.50	55.40	51.20	49.00
AVG	55.90	54.90	50.60	49.00

**Gambar 8** Perbandingan pembacaan kelembaban

Dari hasil yang ada antar DHT22 dan HTC memiliki tren yang mirip baik untuk suhu maupun kelembaban, namun tidak untuk JD3002. Deviasi yang ada bersifat stabil dan dapat dikompensasi secara lunak menggunakan *offset* dalam program Arduino. Penggunaan metode *moving average* juga berhasil menekan noise pembacaan. Dengan demikian, sensor DHT22 dinyatakan layak dan akurat digunakan dalam ruang fermentasi berbasis rentang, seperti sistem UMKM.

4.2. Pengujian Performa Alat

Pengujian sistem dilakukan selama ± 5 jam tanpa bahan biologis untuk memastikan kestabilan suhu dan kelembaban dalam ruang inkubasi. Sensor HTC-1 diletakkan di luar inkubator sebagai pembanding, data diambil setiap 30 menit.

Tabel 4 Data Pengujian Kinerja Aktuator

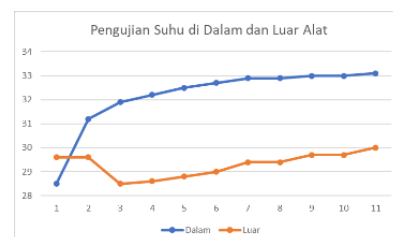
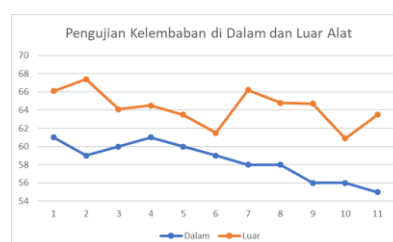
Suhu (°C)	RH (%)	Aktuator				Status alat
		Hum	Fan in	Heat er	Fan out	
28.5	66.1	ON	ON	ON	OFF	DINGIN
31.2	67.4	OFF	ON	ON	OFF	IDEAL

Suhu (°C)	RH (%)	Aktuator				Status alat
		Hum	Fan in	Heat er	Fan out	
31.9	64.1	OFF	ON	ON	OFF	KERING
32.2	64.5	OFF	ON	ON	OFF	KERING
32.5	63.5	OFF	ON	ON	OFF	KERING
32.7	61.5	OFF	ON	ON	OFF	KERING
32.9	66.2	OFF	ON	ON	OFF	IDEAL
32.9	64.8	OFF	ON	ON	OFF	KERING
33.0	64.7	OFF	ON	ON	OFF	KERING
33.0	60.9	ON	ON	ON	OFF	KERING
33.1	63.5	OFF	ON	ON	OFF	KERING

Tabel 5 Pengamatan parameter dalam dan luar alat

Dalam Alat		Luar Alat	
Suhu (°C)	RH (%)	Suhu (°C)	RH (%)
28.5	66.1	29.6	61
31.2	67.4	29.6	59
31.9	64.1	28.5	60
32.2	64.5	28.6	61
32.5	63.5	28.8	60
32.7	61.5	29.0	59
32.9	66.2	29.4	58
32.9	64.8	29.4	58
33.0	64.7	29.7	56
33.0	60.9	29.7	56
33.1	63.5	30.0	55

Sensor HTC-1 diletakkan di luar inkubator sebagai pembanding. Hasil yang ditunjukkan aktuator *ON/OFF* sesuai dengan logika kendali yang sudah terprogram di Arduino tanpa adanya kesalahan atau error dengan repon aktivasi < 2 detik. Kemudian hasil pengamatan terhadap parameter di dalam alat terhadap parameter di luar alat, menunjukkan bahwa suhu dalam ruang fermentasi selalu naik mencapai 33.1°C dan kelembaban naik kemudian turun beberapa kali hingga 63.5% RH pada jam ke-5, sementara suhu luar hanya mencapai 30.0°C dan 55.0% RH.

**Gambar 9** Perbandingan suhu dalam dan luar alat**Gambar 10** Perbandingan kelembaban dalam dan luar alat

Sistem berhasil menjaga suhu dalam rentang 30–37 °C dan kelembapan 65–75% RH sesuai target, Sementara di luar alat, parameter nilainya jauh dari batas ideal yang dibutuhkan untuk fermentasi tempe gambus.

4.3. Pengujian Fermentasi Gambus

Setelah validasi sensor dan sistem, dilakukan fermentasi nrayata tempe gambus selama ± 36 jam. Suhu dan kelembapan dijaga agar terus berada dalam rentang ideal. Data diamati pada jam ke-0, 3, 6, 9, 24, 27, dan 30.

Tabel 6 Hasil pengamatan visual fermentasi tempe gambus selama 30 jam

Jam	Otomatis	Konvensional
0	 Ragi belum aktif	 Ragi belum aktif
3	 Embun banyak, hangat	 Mulai berembun
6	 Menggumpal mulai terlihat pertumbuhan jamur	 Embun meningkat, sedikit hangat
9	 Jamur tumbuh banyak, tekstur memadat	 Sedikit menggumpaldan belum muncul jamur
24	 Jamur tebal dan merata putih,	 Jamur belum merata, tekstur memadat

Jam	Otomatis	Konvensional
	berbau khas, hampir matang	
27	 Matang	 Jamur merata putih
30	 Matang	 Hampir matang, tekstur keras

Hasil visual menunjukkan bahwa tempe gambus sudah hampir matang dan ditumbuhi jamur putih merata sejak jam ke-24, an di jam ke-30, diluar alat tempe beleum sepenuhnya matang. Artinya, sistem mempercepat waktu fermentasi hingga ± 6 jam dibandingkan metode konvensional.

4.4. Evaluasi Kinerja Sensor, Aktuator

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa:

- Sensor DHT22: Menunjukkan deviasi stabil, dikoreksi dengan *offset*, memberikan pembacaan akurat dan *realtime*.
- Heater PTC: Dapat meningkatkan suhu dari 28 °C ke 33–36 °C dalam ± 6 jam.
- Humidifier: Naik ke kelembapan 67-68% kurang dari 30 menit dan bertahan hingga 61% setelah 1.5 jam.
- Fan in/out: Diatur agar tidak aktif bersamaan dengan *fan in*, mencegah konflik sirkulasi.

4.5. Implikasi terhadap UMKM

Dari Sistem ini memerlukan daya maksimum 70 W. Dalam uji 36 jam, konsumsi energi sekitar 2.2 kWh, dengan estimasi biaya listrik hanya Rp 3.140/kWh per siklus fermentasi. Alat tidak membutuhkan koneksi internet dan mudah dioperasikan, sehingga sangat cocok diterapkan di lingkungan UMKM pedesaan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian alat sistem kendali otomatis suhu dan kelembapan untuk fermentasi tempe gambus berbasis Arduino

Mega 2560, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem fermentasi otomatis berbasis ATmega2560 berhasil menjaga suhu 30–37 °C dan kelembapan 65–75% RH secara otomatis menggunakan sensor DHT22, heater PTC, humidifier, fan in dan fan out, serta logika *moving average* dan histeresis.
2. Waktu fermentasi tempe gembus dapat dipercepat dari ±36–48 jam menjadi ±24 jam dengan hasil yang matang merata dan kualitas tetap baik.
3. Sistem bekerja responsif dengan aktivasi aktuator <2 detik dan mampu beroperasi stabil selama ±36 jam tanpa gangguan.
4. Sistem tidak memerlukan koneksi internet, mudah dioperasikan, dan cocok digunakan oleh pelaku UMKM tanpa latar belakang teknis.
5. Sensor DHT22 menunjukkan kinerja stabil, namun disarankan dilakukan kalibrasi berkala untuk penggunaan skala besar atau produksi bersertifikasi.
6. Sistem dapat dikembangkan dengan fitur tambahan seperti pencatatan data otomatis (SD card), tampilan interaktif, konektivitas nirkabel, serta efisiensi aktuator dengan pengaturan PWM atau penggunaan komponen yang lebih hemat energi.
7. Desain fisik dapat ditingkatkan melalui penyempurnaan bentuk, kemudahan perawatan, dan penambahan jendela transparan untuk memantau proses tanpa membuka alat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada UMKM mitra di Desa Sugihmanik, Grobogan atas kerja sama dan kesediaannya dalam mendukung pengujian alat. Selain itu, penulis mengapresiasi kerja sama tim yang telah berkontribusi secara aktif dalam perancangan dan penyelesaian proyek ini.

Penelitian ini dilakukan sebagai bagian dari penyelesaian tugas akhir pada program studi Teknik Elektro. Semoga hasil dan temuan dari penelitian ini dapat bermanfaat dalam pengembangan sistem otomatisasi untuk

mendukung produktivitas UMKM, khususnya dalam penerapan teknologi lingkungan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sunarti *et al.*, “Pengaruh suhu penguapan ekstrak terhadap aktivitas antoksidan dan antitiglikasi ekstrak tempe kedelai dan tempe gembus,” *Ilmu Gizi Indones.*, vol. 6, no. 1, p. 77, 2022, doi: 10.35842/ilgi.v6i1.255.
- [2] S. S. Rosjadi, M. Andini, and F. A. Setiawan, “Transformasi Desa Troseme: Digitalisasi UMKM dan Program Pencegahan Stunting Berbasis Masyarakat,” *Pros. Semin. Nas. LPPM UMJ*, no. November, 2024.
- [3] W. Musa, I. Hidayat, T. I. Yusuf, S. Alam, B. P. Asmara, and A. I. Tolago, “PENGONTROLAN ENERGI PANAS DAN KELEMBABAN MENGGUNAKAN SENSOR DHT22 DAN ESP32 PADA PROSES FERMENTASI TEMPE GEMBUS,” *J. Renew. Energy Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 50–55, 2024, doi: 10.56190/jree.v2i1.31.
- [4] I. W. Bayu AW and T. D. Purwanto, “Rancang Bangun Alat Sistem Kontrol Otomatis Pada Proses Fermentasi Tempe Berbasis Mikrokontroler,” *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 16, no. 1, p. 1, 2024, doi: 10.28989/angkasa.v16i1.1865.
- [5] R. Yunas and A. Basrah, “Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban pada Proses Fermentasi Tempe,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, p. 103, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.106943.
- [6] N. P. Novani, D. Yolanda, R. Hadelina, and L. Rahmadani, “Proposed Design of Incubator for Fermented Soybean Based on Internet of Things,” in *2024 2nd International Symposium on Information Technology and Digital Innovation (ISITDI)*, 2024, pp. 264–269, doi: 10.1109/ISITDI62380.2024.10796397.
- [7] A. M. Ibrahim, H. M. L. -, E. U. A. -, R. F. F. -, and B. S. -, “Implementasi Sensor Preasure Transmitter WPT-83G Dalam Perancangan mesin Pengecatan Otomatis,” *J. Profesi Ins. Univ. Lampung*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2025, doi: 10.23960/jpi.v6n1.165.
- [8] I. R. Gultom, N. H. Azhari, T. T. Gultoms, D. P. Angin, and others, “Desain Sistem Infant Warmer Otomatis Menggunakan Pemanas Inframerah & Blue Light sebagai Therapy Bayi,” *J. Media Elektro*, pp. xxx–xxx, 2025.
- [9] A. Ridwan, “Oven Listrik Keripik Buah Berbasis Arduino dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic dan Sensor DHT22,” *Indones. J. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 5, 2024.
- [10] T. Y. Nainggolan, “Penggunaan Sensor DHT22 pada Rancang Bangun Sistem Monitoring TALENTA Conference Series

- Penggunaan Sensor DHT22 pada Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Otomatis Temperatur Kandang Ayam,” *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 7, no. 1, p. 10, 2024, doi: 10.32734/ee.v7i1.2172.
- [11] M. I. Hakiki, U. Darusalam, and N. D. Nathasia, “Konfigurasi Arduino IDE Untuk Monitoring Pendeteksi Suhu dan Kelembapan Pada Ruang Data Center Menggunakan Sensor DHT11,” *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 4, no. 1, p. 150, 2020, doi: 10.30865/mib.v4i1.1876.
- [12] N. B. Wicaksono, S. M. Effendi, and A. M. A. Jiwatami, “Pilot Study: Pemanas Untuk Thermal Cycler,” *Silampari J. Pendidik. Ilmu Fis.*, vol. 5, no. 1, pp. 14–23, 2023, doi: 10.31540/sjpif.v5i1.1895.
- [13] A. N. Fitri and D. Yendri, “Journal on Computer Hardware , Signal Processing , Embedded Rancang Bangun Pelembab Udara Ruangan (Humidifier) berbasis Mikrokontroler,” vol. 04, no. 01, pp. 61–70, 2023.
- [14] I. D. G. A. T. Putra *et al.*, “Kajian dan penerapan teknologi atomisasi ultrasonik dalam proses pemurnian air laut skala kecil,” *J. Appl. Mech. Eng. Green Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 31–35, 2021, doi: 10.31940/jametech.v2i1.2465.
- [15] R. Aulia, R. A. Fauzan, and I. Lubis, “Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Menggunakan FAN dan DHT11 Berbasis Arduino,” *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 6, no. 1, p. 30, 2021, doi: 10.24114/cess.v6i1.21113.
- [16] D. Kusumawati and B. A. Wiryanto, “Perancangan Bel Sekolah Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Avr Atmega 328 Dan Real Time Clock Ds3231,” *J. Elektron. Sist. Inf. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 13–22, 2020.