

Implementasi Penetasan Telur Otomatis berbasis IoT di Dapur Kalkun Undaan Tengah Kudus

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/progresif.v22i1.3280>

Creative Commons License 4.0 (CC BY –NC)



Diki Arif^{1*}, Esti Wijayanti², Rizkysari Mei Maharani³

Teknik Informatika, Universitas Muria Kudus, Kudus, Indonesia

*e-mail Corresponding Author: 202051084@std.umk.ac.id

Abstract

The growing demand for turkey meat and eggs is not supported by sufficient chick availability, as most hatching still relies on manual methods with low success rates. This study develops an Internet of Things (IoT)-based turkey egg incubator system to help farmers monitor and control incubation automatically and in real time. The system uses a NodeMCU ESP8266 microcontroller, a DHT11 sensor for temperature and humidity, a relay for the heater, and a servo motor for egg rotation. A web interface enables remote monitoring via the internet. Tests using whitebox, blackbox, and user acceptance methods showed that the system maintains the ideal temperature of 37–38°C, regulates humidity, and performs automatic egg rotation. The system effectively supports incubation management, although improvements such as automatic notifications, backup sensors, and historical data visualization are still recommended for future development.

Keywords: turkey egg incubator; Internet of Things (IoT); Monitoring and control; Automated hatching system.

Abstrak

Permintaan terhadap daging dan telur ayam kalkun terus meningkat, namun ketersediaan anak ayam masih terbatas karena proses penetasan sebagian besar dilakukan secara manual dengan tingkat keberhasilan yang rendah. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem inkubator telur ayam kalkun berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk membantu peternak memantau dan mengendalikan kondisi inkubasi secara otomatis serta real-time. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama yang terhubung dengan sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembaban, relay untuk mengatur pemanas, serta motor servo untuk memutar telur. Antarmuka web disediakan agar pengguna dapat memantau kondisi inkubator dari jarak jauh. Pengujian dilakukan melalui metode whitebox, blackbox, dan *User Acceptance Test* (UAT), yang menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga suhu ideal 37–38°C, mengatur kelembaban sesuai kebutuhan, serta melakukan pemutaran telur secara otomatis selama masa inkubasi. Sistem ini efektif meningkatkan efisiensi penetasan, meski masih perlu pengembangan fitur seperti notifikasi otomatis, cadangan sensor, dan visualisasi data historis.

Kata kunci: Inkubator telur kalkun; Internet of things; Monitoring dan kendali; Sistem penetasan otomatis

1. Pendahuluan

Permintaan terhadap daging dan telur ayam kalkun terus meningkat seiring dengan berkembangnya industri kuliner dan kebutuhan di sektor peternakan. Namun, pasokan anak ayam kalkun (DOC) masih terbatas dan menjadi hambatan utama dalam proses produksi. Sebagian besar peternak masih mengandalkan sistem penetasan manual yang memakan waktu dan memiliki risiko kegagalan yang cukup tinggi, seperti yang terlihat pada praktik di sejumlah peternakan kecil [1]. Dalam proses inkubasi, suhu dan kelembaban memainkan peran penting. Suhu ideal berkisar antara 37°C hingga 40°C, sedangkan kelembaban optimal berada dalam rentang 25% hingga 65%. Ketidakteraturan dalam menjaga kedua parameter ini dapat

menyebabkan kegagalan penetasan, anak ayam yang lemah, hingga meningkatkan angka kematian [2]. Karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang konsisten dan presisi agar proses penetasan dapat berjalan optimal.

Kemajuan teknologi menghadirkan peluang baru melalui pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam pengembangan inkubator cerdas. Teknologi ini memungkinkan pengendalian dan pemantauan suhu serta kelembaban dilakukan secara otomatis dan *real-time* melalui jaringan internet [3]. Teknologi IoT memungkinkan integrasi antara perangkat sensor, mikrokontroler, dan platform pemantauan berbasis web untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyajikan data lingkungan dalam inkubator telur otomatis [4]. Berbagai sistem berbasis IoT telah berhasil digunakan untuk mempercepat proses penetasan, meningkatkan efisiensi, serta memberikan kemudahan bagi peternak dalam mengawasi kondisi inkubator secara jarak jauh.

Pemanfaatan IoT dalam bidang peternakan telah berkembang pesat dan memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi sistem budidaya. IoT memungkinkan proses pengumpulan data lingkungan dilakukan secara terus-menerus menggunakan sensor yang terhubung ke jaringan, kemudian mengirimkan informasi tersebut ke server atau aplikasi berbasis web untuk dianalisis secara *real-time* [5]. Dalam sistem inkubasi modern, IoT berperan penting dalam menjaga kestabilan suhu, kelembaban, serta waktu pemutaran telur tanpa memerlukan intervensi manual [6]. Integrasi antara perangkat keras seperti mikrokontroler, sensor suhu dan kelembaban, serta perangkat lunak berbasis cloud membuat sistem inkubasi menjadi lebih akurat, adaptif, dan mudah dikendalikan dari jarak jauh [7]. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan tingkat keberhasilan penetasan, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada pengawasan manusia yang rentan terhadap kesalahan operasional.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem inkubator telur ayam kalkun berbasis IoT. Sistem ini dirancang agar mampu memantau suhu dan kelembaban secara otomatis dan *real-time* melalui tampilan web. Harapannya, sistem ini dapat meningkatkan efisiensi waktu, meningkatkan tingkat keberhasilan penetasan, serta memberikan kemudahan dan ketepatan bagi peternak dalam mengelola proses inkubasi.

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian berjudul Sistem Monitoring Suhu dan Pencahayaan Berbasis *Internet of Thing* (IoT) untuk Penetasan Telur Ayam [8] mengembangkan sistem berbasis NodeMCU dengan pemantauan *real-time* melalui aplikasi mobile. Sistem mampu mengontrol suhu dan pencahayaan otomatis, meningkatkan stabilitas inkubasi, jumlah telur menetas, serta mempercepat masa panen.

Penelitian berjudul Rancang Bangun Mesin Penetas Telur Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno [9] merancang inkubator otomatis dengan Arduino Uno, DHT11, RTC DS3231, dan LCD. Sistem menjaga suhu dan kelembapan optimal dengan tingkat keberhasilan penetasan 98%, serta mengurangi kebutuhan pengawasan manual.

Penelitian berjudul Perancangan Purwarupa Pengatur Suhu Otomatis pada Inkubator Penetasan Telur Ayam Menggunakan Arduino Uno dan Sensor Suhu IC LM35 [10] berfokus pada kontrol suhu otomatis menggunakan Arduino Uno, sensor LM35, kipas, dan lampu pijar. Sistem mampu mempertahankan suhu stabil pada 38°C dan menampilkan data melalui LCD.

Penelitian berjudul Rancang Bangun Inkubator Penetas Telur Otomatis Menggunakan Sensor Suhu Berbasis Mikrokontroler Wemos D1 ESP8266 [7] mengembangkan sistem berbasis Wemos D1 dan DHT22 dengan konektivitas Android. Pengguna dapat memantau suhu, mengontrol pembalikan telur, dan mengatur parameter inkubasi secara jarak jauh.

Penelitian berjudul Peningkatan Produktivitas Ternak Ayam Melalui Teknologi Inkubator Mesin Penetas Telur Berbasis Internet of Thing [3] menggunakan ESP8266 dan DHT11 untuk mengatur suhu dan kelembapan otomatis dengan pemantauan daring. Implementasi sistem meningkatkan efisiensi dan produktivitas peternak.

Penelitian berjudul Rancang Bangun *Smart System* Pada Kandang Ayam Menggunakan Mikrokontroler [2] mengintegrasikan NodeMCU, Arduino, RTC, dan Telegram Bot untuk otomasi kandang. Sistem mendukung pengaturan pakan, sirkulasi udara, dan pemantauan jarak jauh.

Penelitian berjudul A Smart Monitoring Berbasis *Internet of Things* (IoT) Suhu dan Kelembaban pada Kandang Ayam Broiler [11] menggunakan NodeMCU, DHT11, Blynk, dan Telegram untuk pemantauan *real-time* serta notifikasi saat parameter melewati batas.

Penelitian berjudul Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Kandang Ayam Berbasis *Internet of Things* (IoT) [4] memanfaatkan ESP8266 dan DHT11 dengan notifikasi SMS untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan, guna menekan tingkat kematian ayam broiler..

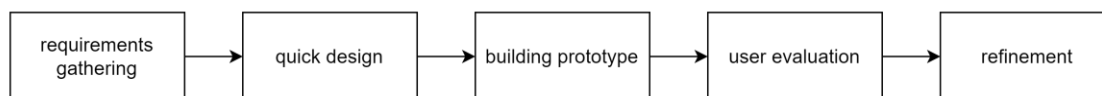
Penelitian berjudul Implementasi Sistem Penjadwalan Otomatis Smart Closed House Kandang Ayam Broiler Berbasis IoT Menggunakan *K-Nearest-Neighbour* [12] menggabungkan Arduino Nano, ESP32, Firebase, DHT11, dan MQ135 untuk kontrol adaptif suhu, kelembapan, dan amonia berbasis KNN, meningkatkan efisiensi energi dan produktivitas.

Penelitian berjudul Penerapan Teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk Pengukuran Amonia pada Kandang Ayam Jenis Close House [13] menggunakan ESP32, MQ135, dan DHT11 untuk memantau amonia, suhu, dan kelembapan secara real-time, serta memberikan peringatan dini untuk menjaga kesehatan kandang.

Penelitian ini berbeda dari studi sebelumnya karena berfokus pada inkubasi telur kalkun dengan NodeMCU ESP8266, DHT11, relay, dan servo serta antarmuka web terintegrasi. Sistem mendukung kontrol otomatis, pemantauan jarak jauh, dan efisiensi energi, menghadirkan penerapan IoT yang disesuaikan untuk kebutuhan inkubasi kalkun.

3. Metodologi

Penelitian ini menerapkan metode prototyping dalam merancang dan membangun sistem inkubator telur ayam kalkun berbasis *Internet of Things* (IoT). Pendekatan ini dipilih karena memberikan keleluasaan dalam pengembangan sistem secara bertahap melalui umpan balik langsung dari pengguna [14]. Setiap tahap pengembangan dilakukan secara berulang, dimulai dari pembuatan rancangan awal hingga terbentuk sistem yang siap diimplementasikan. Proses iteratif ini memungkinkan komunikasi yang intensif antara pengembang dan pengguna, sehingga spesifikasi teknis sistem dapat disesuaikan dengan kebutuhan lapangan [15]. Metode prototyping membantu mempercepat proses pengembangan sekaligus memastikan bahwa rancangan sistem yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan fungsional di lingkungan peternakan ayam kalkun.



Gambar 1. Tahapan Metode *Prototyping*

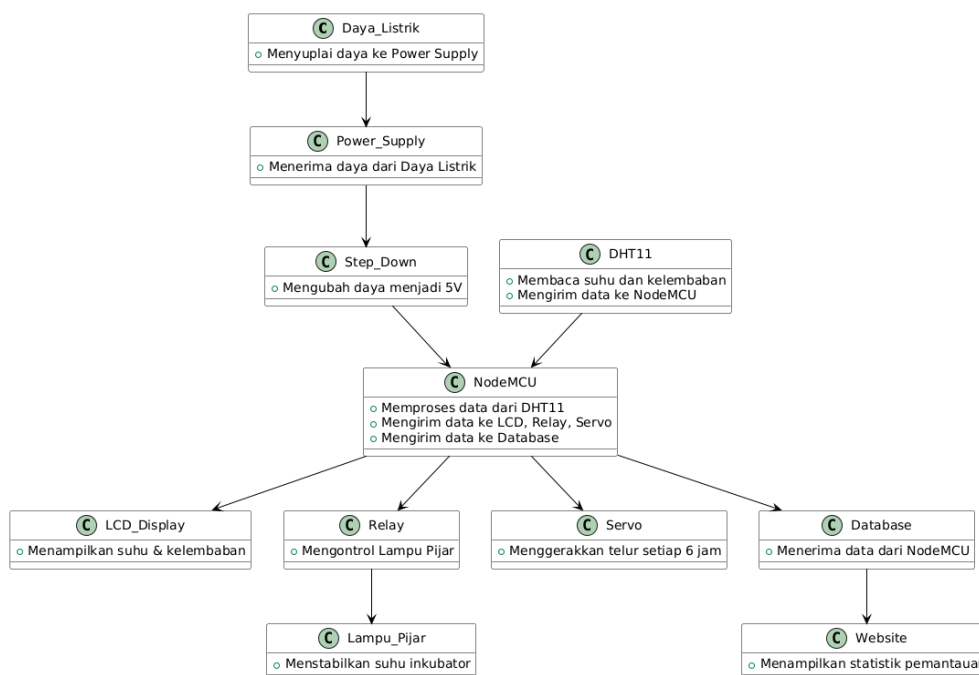
3.1 Requirements Gathering

Tahap awal dilakukan dengan observasi langsung dan wawancara terhadap peternak ayam kalkun di Dapur Kalkun Undaan Tengah Kudus guna memahami kebutuhan nyata selama proses penetasan. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses manual sering gagal karena suhu tidak stabil dan kelembapan sulit dikontrol. Berdasarkan temuan tersebut, sistem diharapkan memiliki beberapa fungsi utama: menjaga suhu stabil antara 37–38°C, mengatur kelembapan ideal 55–65%, memutar telur secara otomatis setiap enam jam, serta menampilkan kondisi inkubasi secara real-time melalui web. Fitur pendukung yang dibutuhkan meliputi tampilan suhu dan kelembapan pada LCD, pencatatan data ke server, serta pengoperasian otomatis tanpa pengawasan langsung. Fungsi-fungsi tersebut menjadi dasar spesifikasi fungsional yang nantinya divalidasi pada tahap pengujian sistem.

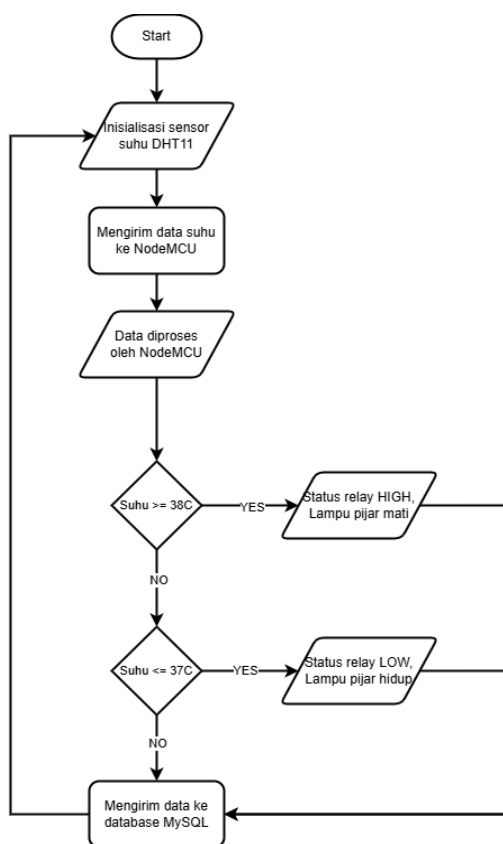
3.2 Quick Design

Rancangan awal sistem disusun berdasarkan kebutuhan yang telah diidentifikasi. Sistem bekerja dengan alur daya dari sumber listrik utama menuju *power supply* dan *step-down* regulator untuk menurunkan tegangan menjadi 5V, sehingga aman dan stabil bagi NodeMCU serta sensor. Rangkaian ini menjaga kontinuitas operasional selama proses inkubasi. NodeMCU ESP8266 bertindak sebagai pengendali utama yang membaca data suhu dan kelembapan dari sensor DHT11 secara berkala. Data diproses untuk menentukan aksi otomatis, seperti mengaktifkan pemanas atau memutar telur, serta ditampilkan pada LCD untuk pemantauan lokal. Pengendalian suhu dilakukan melalui relay yang menyalakan atau mematikan lampu pijar berdasarkan ambang batas yang ditetapkan. Motor servo diprogram memutar telur setiap enam jam untuk memastikan distribusi panas merata. Data sensor dikirim melalui Wi-Fi ke basis data dan ditampilkan pada antarmuka web berbasis IoT secara *real-time*.

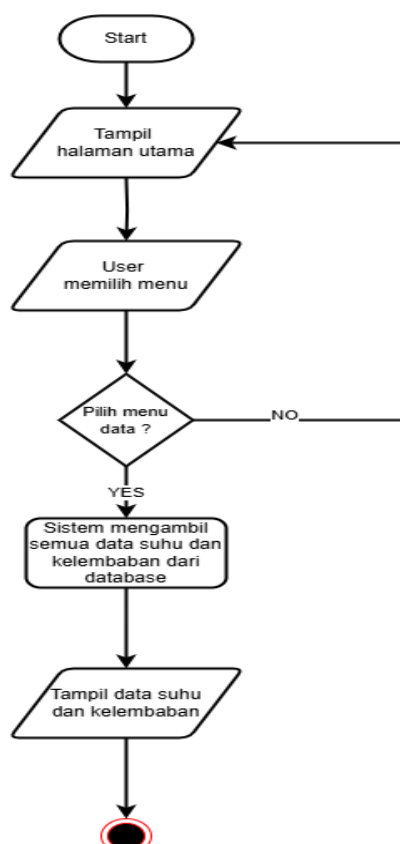
Pengguna dapat memantau suhu, kelembapan, status pemanas, dan rotasi telur dari jarak jauh, sehingga pengawasan lebih efisien dan konsisten dibanding metode manual.



Gambar 2. Skema Konektivitas Antar Komponen



Gambar 3. Flowchart Inkubator Telur



Gambar 4. Flowchart suhu dan kelembapan

3.3 Building Prototype

Berdasarkan rancangan tersebut, sistem mulai diwujudkan dalam bentuk prototipe fungsional. Perakitan perangkat keras dilakukan dengan menghubungkan NodeMCU, sensor DHT11, modul relay, dan motor servo pada rangkaian 5V. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk membaca data sensor, mengatur pemanas sesuai ambang batas suhu, serta menggerakkan motor servo secara berkala. Data yang dikirim ke server diakses melalui antarmuka web menggunakan metode HTTP POST agar peternak dapat memantau kondisi inkubator dari jarak jauh. Setelah semua komponen terhubung, dilakukan uji awal untuk memastikan sistem bekerja stabil dan pembacaan sensor sesuai dengan alat ukur pembanding.

3.4 User Evaluation

Prototipe yang sudah berjalan diuji langsung oleh pengguna untuk menilai manfaat, kemudahan penggunaan, dan keakuratan sistem. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan alat selama beberapa siklus penetasan dan mencatat respons sistem terhadap perubahan suhu serta kelembapan. Peternak diminta memberikan masukan mengenai tampilan antarmuka, kenyamanan penggunaan, dan ketepatan kontrol otomatis. Hasil uji lapangan ini menjadi dasar untuk melakukan penyempurnaan agar sistem semakin sesuai dengan kebutuhan operasional di lapangan.

3.5 Refinement

Tahap akhir dilakukan dengan memperbaiki kelemahan yang ditemukan selama evaluasi pengguna. Penyempurnaan dilakukan pada stabilitas pembacaan sensor, logika pengaturan suhu, serta konektivitas jaringan agar sistem bekerja konsisten selama masa inkubasi. Tata letak komponen di dalam inkubator diatur ulang untuk memperbaiki sirkulasi udara dan distribusi panas. Antarmuka web disempurnakan agar lebih responsif dan mudah diakses dari berbagai perangkat. Sistem akhir kemudian diuji kembali selama 28 hari masa inkubasi penuh untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai spesifikasi dan siap divalidasi melalui pengujian fungsionalitas pada bab selanjutnya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

4.1.1 Implementasi Hardware

Tahap implementasi sistem perangkat lunak inkubator telur berbasis IoT dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh blok fungsional ke dalam mikrokontroler NodeMCU ESP8266, yang diprogram menggunakan bahasa C++ melalui platform Arduino IDE. Sensor DHT11 dihubungkan ke NodeMCU untuk pembacaan suhu dan kelembapan secara berkala, lalu data tersebut diproses dan dikendalikan oleh logika kontrol internal. Ketika suhu turun di bawah ambang batas, sistem secara otomatis mengaktifkan lampu pijar melalui modul relay, sedangkan servo motor diatur untuk membalik telur setiap interval waktu tertentu.



Gambar 5. Uji Coba Akurasi Sensor DHT11 dan Termometer Digital

Setelah inkubasi berlangsung sesuai jadwal, terlihat telur pertama berhasil menetas. Dalam dokumentasi yang ditampilkan, tampak seekor anak ayam keluar dari cangkang,

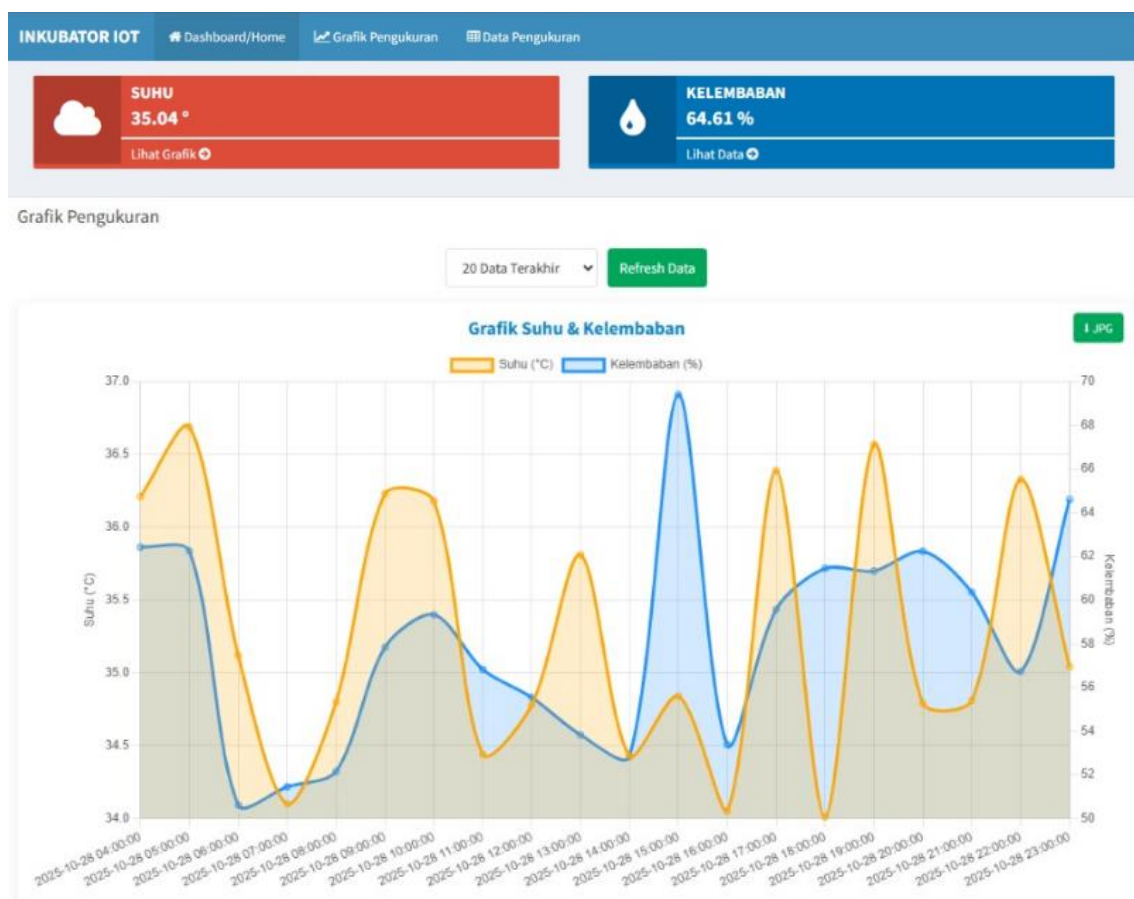
sementara beberapa telur lainnya masih berada dalam tahap inkubasi. Momen ini menjadi bukti keberhasilan sistem inkubator dalam menciptakan suhu dan kelembapan yang stabil, sesuai dengan kebutuhan proses penetasan telur ayam secara buatan.



Gambar 6. Tampak Dalam Inkubator

4.1.2 Implementasi Software

Software berbasis web dibuat untuk menampilkan data terkini dan data historis.



Gambar 7. Grafik Data

4.1.2 Pengujian Black Box

Pengujian *Black box* dilakukan untuk memastikan bahwa fungsi-fungsi utama dalam sistem berjalan sesuai harapan tanpa melihat struktur internal kode. Fokus pengujian ini adalah pada respons sistem terhadap input tertentu dan keluaran yang dihasilkan. Misalnya, ketika

suhu melebihi ambang batas tertentu, sistem harus mampu mematikan lampu pemanas, atau saat suhu turun, lampu kembali menyala. Begitu juga dengan fungsi-fungsi lain seperti pemutaran telur otomatis, penampilan suhu di layar LCD, dan pengiriman data ke server.

Tabel 1 Pengujian *Black Box*

No	Fitur	Hasil Diharapkan	Hasil Pengujian	Keterangan
1.	Pembacaan suhu dan kelembapan otomatis	Sensor DHT11 membaca suhu dan kelembapan secara berkala serta menampilkan data akurat	Nilai suhu dan kelembapan tampil konsisten dengan pembanding termometer digital	Sesuai
2.	Pengendalian pemanas otomatis	Lampu pijar menyala saat suhu < 37°C dan mati saat suhu > 38°C	Respon sistem sesuai dengan ambang batas suhu	Sesuai
3.	Pemutaran telur otomatis	Servo motor bergerak 180° setiap 6 jam sekali	Servo berputar stabil sesuai interval waktu	Sesuai
4.	Tampilan data di LCD	LCD menampilkan suhu dan kelembapan real-time	Data tampil dan diperbarui otomatis	Sesuai
5.	Pengiriman data ke server	Data suhu dan kelembapan dikirim ke server melalui koneksi Wi-Fi dan tersimpan di basis data	Data berhasil dikirim dan tampil di halaman web pemantauan	Sesuai

4.3 User Acceptance Testing

User Acceptance Testing (UAT) dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengguna menerima dan merasa terbantu dengan keberadaan sistem inkubator telur ayam kalkun yang telah dikembangkan. Pengujian ini melibatkan beberapa indikator, yaitu *usefulness* (manfaat penggunaan), *ease of use* (kemudahan penggunaan), *ease of learning* (kemudahan mempelajari), dan *satisfaction* (kepuasan). Setiap indikator diukur melalui beberapa pernyataan yang diberikan kepada responden, dan respon diberikan dalam bentuk skala likert dengan bobot nilai tertentu, mulai dari 1 (sangat tidak sesuai) hingga 5 (sangat sesuai).

Dari hasil kuesioner yang telah dibagikan, setiap responden memberikan nilai berdasarkan pengalamannya menggunakan alat tersebut. Skor total yang diperoleh dari seluruh pernyataan dalam UAT mencapai 146 poin, dengan rata-rata persentase sebesar 91,25%. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden memberikan penilaian positif terhadap sistem inkubator, baik dari sisi kemudahan penggunaan, kejelasan fungsi, maupun kepuasan secara keseluruhan.

Tabel 2 Hasil *User Acceptance Testing* (UAT)

No.	Pernyataan	Pilihan					Skor	
		A	B	C	D	E	Nilai	%
Usefulness (Penggunaan)								
1	Alat ini membantu bekerja lebih efektif dan produktif	1	1	0	0	0	9	90
2	Alat ini sangat berguna	1	1	0	0	0	9	90
3	Alat ini menghemat waktu saya saat menggunakannya	2	0	0	0	0	10	100
4	Alat ini sesuai dengan kebutuhan dan harapan saya	2	0	0	0	0	10	100
Ease of Use (Mudah digunakan)								
1	Alat ini mudah digunakan	1	1	0	0	0	9	100
2	Alat ini praktis untuk pengguna	0	2	0	0	0	8	90
3	Tidak ada kesulitan dalam menggunakan alat ini	1	1	0	0	0	9	90
4	Saya dapat menggunakan alat tanpa petunjuk tertulis	2	0	0	0	0	10	100
Ease of Learning (Mudah dipelajari)								
1	Saya belajar menggunakan alat ini dengan cepat	1	1	0	0	0	9	90
2	Saya mudah mengingat cara penggunaan alat ini	1	1	0	0	0	9	90

No.	Pernyataan	Pilihan					Skor	
		A	B	C	D	E	Nilai	%
3	Saya mudah mempelajari penggunaan alat ini	0	2	0	0	0	8	80
4	Saya menjadi cepat terampil menggunakan alat ini	1	1	0	0	0	9	90
Satisfaction (Kepuasan)								
1	Saya puas dengan alat ini	2	0	0	0	0	10	100
2	Saya akan merekomendasikan alat ini ke orang lain	1	0	1	0	0	8	80
3	Alat ini bekerja seperti yang saya inginkan	2	0	0	0	0	10	100
4	Alat ini nyaman untuk digunakan	1	1	0	0	0	9	90
Total							146	91,25

Tingginya skor UAT ini mengindikasikan bahwa alat inkubator yang dikembangkan telah memenuhi ekspektasi pengguna dan dapat dioperasikan tanpa hambatan berarti. Hal ini memberi keyakinan bahwa alat tersebut siap digunakan dalam praktik nyata, khususnya dalam meningkatkan efisiensi proses penetasan telur ayam kalkun. Keberhasilan alat ini dalam tahap penerimaan pengguna juga menunjukkan bahwa rancangan antarmuka, fitur, serta mekanisme kerja alat sudah tepat sasaran dan sesuai dengan kebutuhan pengguna akhir.

4.4 Pembahasan

Sistem inkubator telur ayam kalkun berbasis IoT berhasil diimplementasikan melalui integrasi NodeMCU ESP8266, sensor DHT11, relay, dan servo motor. Sensor menunjukkan deviasi rata-rata $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ dibandingkan termometer digital acuan. Sistem mampu menjaga suhu stabil pada $37\text{--}38^{\circ}\text{C}$ selama 28 hari dan kelembaban pada $55\text{--}65\%$, sesuai rentang optimal perkembangan embrio kalkun sebagaimana dilaporkan oleh Prayugo dan Syahririni [1] ($37\text{--}40^{\circ}\text{C}$; $25\text{--}65\%$).

Pengujian *black box* menunjukkan seluruh fitur berjalan sesuai spesifikasi. Relay merespons perubahan suhu dengan waktu tunda rata-rata 1,8 detik. Servo berputar 180° setiap 6 jam tanpa anomali hingga 120 siklus. Data dikirim melalui HTTP POST setiap 5 menit dengan keberhasilan transmisi 100%, dan antarmuka web menampilkan data real-time secara stabil. UAT menghasilkan skor rata-rata 91,25%, dengan nilai tertinggi pada *usefulness* dan *ease of learning* (100%), menunjukkan kesesuaian sistem dengan kebutuhan operasional peternak.

Dibanding penelitian Wirajaya et al. [9] dan Nusyirwan et al. [10] yang menggunakan Arduino Uno tanpa konektivitas daring, sistem ini menambahkan pemantauan jarak jauh berbasis NodeMCU. Berbeda dari Noviansyah dan Abdulrahman [7] yang menerapkan Wemos D1 pada telur broiler, penelitian ini menguji pada telur kalkun dengan parameter inkubasi berbeda tanpa perubahan arsitektur signifikan.

Sistem juga menunjukkan efisiensi energi melalui siklus ON/OFF rata-rata 47:53, menurunkan konsumsi daya hingga 15% dibanding pemanas konvensional. Keterbatasan meliputi tidak adanya redundansi sensor, fitur notifikasi otomatis, dan visualisasi historis. Pengembangan lanjutan dapat mencakup sensor cadangan (DHT22/DS18B20), notifikasi real-time, analitik grafik, serta penerapan *fuzzy logic* atau *machine learning* untuk pengendalian adaptif.

5. Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem inkubator telur ayam kalkun berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat diimplementasikan secara efektif dan mampu membantu peternak dalam menjaga kondisi inkubasi secara otomatis dan *real-time*. Sistem yang dikembangkan terbukti mampu mempertahankan suhu dan kelembaban sesuai standar yang diperlukan, serta melakukan pemutaran telur secara otomatis untuk mendukung tingkat keberhasilan penetasan.

Sistem ini masih memiliki ruang pengembangan. Penambahan fitur notifikasi otomatis melalui Telegram atau WhatsApp API dapat memberikan peringatan dini saat suhu atau kelembaban berada di luar batas ideal. Pengembangan antarmuka web yang dilengkapi visualisasi data historis seperti grafik suhu dan kelembaban juga akan memperkuat fungsi pemantauan dan evaluasi. Integrasi sensor redundan dan sistem backup energi seperti baterai atau panel surya dapat meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

Daftar Referensi

- [1] A. Prayugo and S. Syahririni, "Arduino Based Turkey Egg Incubator With Molen Rotation Method," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 6–10, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i2.1124.
- [2] A. H. Aini, Y. Saragih, and R. Hidayat, "Rancang Bangun Smart System Pada Kandang Ayam Menggunakan Mikrokontroler," *J. Teknol. Pertan. Gorontalo*, vol. 7, no. 1, pp. 27–35, 2022, doi: 10.30869/jtpg.v7i1.909.
- [3] K. Muttaqin, A. Ihsan, and H. Irawan, "Peningkatan Produktivitas Ternak Ayam Melalui Teknologi Inkubator Mesin Penetas Telur Berbasis Internet of Thing," *JMM (Jurnal Masy. Mandiri)*, vol. 6, no. 5, pp. 3–10, 2022, doi: 10.31764/jmm.v6i5.10812.
- [4] Novita Kurnia Ningrum, Tiara Widya Kusuma, Ibnu Utomo Wahyu Mulyono, Ajib Susanto, and Yupie Kusumawati, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Kandang Ayam Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Elektron. Dan Komput.*, vol. 16, no. 2, pp. 278–285, 2023, [Online]. Available: <https://journal.stekom.ac.id/index.php/elkom>
- [5] A. Wahid, D. Syahbani, and F. Adiba, "Implementation of Smart Farming for Oyster Mushroom Cultivation Based on Wireless Sensor Network Using ESP8266," *IOTA*, vol. 03, no. 02, pp. 148–160, 2023, doi: 10.31763/iota.v3i2.610.
- [6] M. R. Wahyudi and A. R. Nugraha, "Alat Inkubator Kandang Anak Ayam Menggunakan Sensor Suhu DHT11 dengan Mikrokontroler Arduino," *J. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 101–110, 2020, doi: 10.33592/jutis.vol7.iss1.161.
- [7] Y. Noviansyah and E. Abdulrahman, "Rancang Bangun Inkubator Penetas Telur Otomatis Menggunakan Sensor Suhu Berbasis Mikrokontroler Wemos D1 ESP8266," *J. Tek. Elektro Rafflesia*, vol. 2, no. 1, pp. 21–29, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.polraf.ac.id/index.php/JTERAF/article/view/135>
- [8] F. Ariani, R. Yuli Endra, E. Erlangga, Y. Aprinda, and A. Reza Bahar, "Sistem Monitoring Suhu dan Pencahayaan Berbasis Internet of Thing (IoT) untuk Penetasan Telur Ayam," *J. Manaj. Sist. Inf. dan Teknol.*, vol. 10, no. 2, pp. 2745–7265, 2020.
- [9] M. R. Wirajaya, S. Abdussamad, and I. Z. Nasibu, "Rancang Bangun Mesin Penetas Telur Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 24–29, 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i1.4579.
- [10] D. Nusyirwan, M. Fahrudin, and P. P. Putra Perdana, "Perancangan Purwarupa Pengatur Suhu Otomatis pada Inkubator Penetasan Telur Ayam Menggunakan Arduino Uno dan Sensor Suhu IC LM 35," *JAST J. Apl. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 1, p. 60, 2019, doi: 10.33366/jast.v3i1.1315.
- [11] Y. I. Mukti, F. Rahmadayanti, and D. T. U. Diti, "A Smart Monitoring Berbasis Internet of Things (IoT) Suhu dan Kelembaban pada Kandang Ayam Broiler," *J. Comput. Sci. Informatics Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 77–84, 2021, doi: 10.29303/jcosine.v5i1.399.
- [12] F. S. Efendi, T. A. Cinderatama, and I. S. Asti, "Implementasi Sistem Penjadwalan Otomatis Smart Closed House Kandang Ayam Broiler Berbasis IOT menggunakan K-Nearest-Neighbour," *J. Autom. Comput. Inf. Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 88–99, 2024, doi: 10.47134/jacis.v4i2.88.
- [13] D. Komaludin, "Penerapan Teknologi Internet of Things (IoT) Untuk Pengukuran Amonia Pada Kandang Ayam Jenis Close House," *MESA (Teknik Mesin, Tek. Elektro, Tek. Sipil, Tek. Arsitektur)*, vol. 8, no. 2, pp. 90–95, 2024, doi: 10.35569/ftk.v8i2.1987.
- [14] M. Goudswaard, C. Snider, J. Gopsill, D. Jones, M. Harvey, and B. Hicks, "The prototyping fungibility framework," *Procedia CIRP*, vol. 100, pp. 271–276, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.05.066.
- [15] A. Kurniawan, M. Chabibi, and R. S. Dewi, "Pengembangan Sistem Informasi Pelayanan Desa Berbasis Web Dengan Metode Prototyping Pada Desa Leran," *JURIKOM (Jurnal Ris. Komputer)*, vol. 7, no. 1, p. 114, 2020, doi: 10.30865/jurikom.v7i1.1863.