

Pengembangan Smart Egg Incubator Semi Otomatis untuk Monitoring Kondisi Inkubasi Berbasis Internet of Things

Ali Akbar Ritonga¹, Ramadani Ritonga², Elysa Rohayani Hasibuan¹, Rohani¹

¹Fakultas Sains dan Teknologi, Teknologi Informasi, Universitas Labuhanbatu, Rantauprapat, Indonesia

²Fakultas Ilmu Komputer, Teknik Informatika, Universitas Al-Washliyah, Rantauprapat, Indonesia

Email: ¹aliakbarritonga@gmail.com, ²ritongaramadani8@gmail.com, ³elysa.hasby@gmail.com, ⁴pasariburohani@gmail.com

(* : elysa.hasby@gmail.com)

Abstrak - Proses penetasan telur secara konvensional masih menghadapi kendala berupa ketidakstabilan suhu dan kelembapan, pembalikan telur secara manual, serta keterbatasan pemantauan kondisi inkubator secara berkelanjutan. Kondisi tersebut dapat meningkatkan beban pengawasan dan memengaruhi kestabilan proses inkubasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan Smart Egg Incubator semi otomatis berbasis Internet of Things untuk melakukan monitoring suhu dan kelembapan secara real-time, pembalikan telur otomatis, serta sistem notifikasi cerdas terhadap perubahan kondisi inkubasi. Metode penelitian menggunakan Research and Development dengan pendekatan prototyping, meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian fungsional menggunakan metode black-box testing. Sistem dikembangkan menggunakan ESP32, sensor DHT22, heater, kipas DC, motor servo, dan platform IoT sebagai media komunikasi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi monitoring, pengendalian suhu, pembalikan telur otomatis, komunikasi data, dan sistem notifikasi dapat berjalan sesuai rancangan pada skenario pengujian yang dilakukan. Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi monitoring kondisi inkubasi secara real-time, pembalikan telur otomatis, dan notifikasi cerdas dalam satu prototipe semi otomatis berbasis IoT. Integrasi tersebut memberikan alternatif pemantauan inkubasi yang lebih praktis dan responsif dibandingkan pengawasan manual serta mendukung pengembangan sistem penetasan telur yang lebih efisien.

Kata Kunci: Internet of Things; Smart Egg Incubator; ESP32; Monitoring Real-Time; Pembalik Telur Otomatis; Sistem Notifikasi.

Abstract—Conventional egg incubation still faces challenges such as unstable temperature and humidity, manual egg turning, and limitations in continuously monitoring incubator conditions. These conditions can increase the monitoring burden and affect the stability of the incubation process. This study aims to develop a semi-automatic Smart Egg Incubator based on the Internet of Things (IoT) to perform real-time temperature and humidity monitoring, automatic egg turning, and a smart notification system for changes in incubation conditions. The research method employs a Research and Development approach with a prototyping methodology, including needs assessment, system design, hardware and software implementation, and functional testing using black-box testing. The system was developed using an ESP32, a DHT22 sensor, a heater, a DC fan, a servo motor, and an IoT platform as the data communication medium. Test results showed that the monitoring, temperature control, automatic egg turning, data communication, and notification functions operated as designed in the conducted test scenarios. The contribution of this research lies in the integration of real-time incubation condition monitoring, automatic egg turning, and smart notifications into a single semi-automatic IoT-based prototype. This integration provides a more practical and responsive alternative to manual monitoring and supports the development of more efficient egg-hatching systems.

Keywords: Internet of Things; Smart Egg Incubator; ESP32; Real-Time Monitoring; Automatic Egg Turner; Notification System.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong penerapan sistem monitoring dan otomasi pada berbagai bidang, termasuk pertanian dan peternakan. IoT memungkinkan perangkat fisik dilengkapi sensor, mikrokontroler, dan konektivitas jaringan sehingga data kondisi lingkungan dapat dikumpulkan, dikirim, dan dipantau secara real-time. Penerapan teknologi tersebut menjadi relevan pada proses inkubasi telur karena keberhasilan perkembangan embrio dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama periode penetasan, terutama suhu, kelembapan, sirkulasi udara, dan pembalikan telur. Perubahan kondisi lingkungan yang berada di luar kondisi yang diperlukan selama proses inkubasi dapat mengganggu perkembangan embrio dan memengaruhi hasil penetasan [1]. Proses inkubasi membutuhkan pemantauan suhu dan kelembapan secara berkelanjutan serta pembalikan telur secara berkala. Suhu dan kelembapan yang tidak sesuai dapat menyebabkan kondisi lingkungan inkubator tidak optimal, sedangkan pembalikan telur diperlukan untuk membantu mencegah embrio menempel pada salah satu sisi cangkang dan mendukung perkembangan embrio selama masa inkubasi[2][3]. Oleh karena itu, proses inkubasi memerlukan sistem yang mampu membantu pengguna memantau kondisi lingkungan secara konsisten sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap aktivitas manual. Pada praktiknya, penggunaan inkubator yang masih mengandalkan pengawasan manual menyebabkan pengguna harus memeriksa suhu dan kelembapan secara berkala, melakukan penyesuaian sumber panas, serta membalik telur sesuai jadwal. Ketergantungan terhadap pengawasan manual dapat meningkatkan beban pengguna dan menyebabkan respons terhadap perubahan kondisi inkubator tidak selalu dapat dilakukan dengan cepat. Keterbatasan tersebut semakin terlihat ketika pengguna tidak berada di dekat perangkat karena kondisi inkubator tidak dapat dipantau secara langsung. Penelitian mengenai sistem monitoring inkubator menunjukkan bahwa penerapan IoT dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan menyediakan akses terhadap informasi kondisi inkubator melalui jaringan internet[4].

Pemanfaatan mikrokontroler yang memiliki konektivitas jaringan, seperti ESP32, memberikan peluang untuk mengembangkan sistem monitoring inkubator yang terhubung dengan internet. ESP32 dapat digunakan sebagai pengendali yang menerima data dari sensor, memproses kondisi sistem, mengendalikan aktuator, dan mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi. Pada sistem inkubator telur, integrasi ESP32 dengan sensor suhu dan kelembapan serta aktuator dapat digunakan untuk mendukung monitoring dan otomatisasi proses inkubasi[2]. Dengan adanya konektivitas IoT, data kondisi inkubator juga dapat ditampilkan pada platform monitoring sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dari perangkat bergerak[4]. Penerapan ESP32 dan sensor pada sistem monitoring berbasis IoT juga telah digunakan pada pemantauan limbah, kualitas air, dan kondisi lingkungan[5][6][7].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan inkubator telur berbasis IoT dengan fokus dan kombinasi fungsi yang berbeda. Hidayat dkk. mengembangkan sistem inkubator cerdas berbasis IoT menggunakan aplikasi multiplatform untuk mendukung pemantauan kondisi inkubator melalui perangkat pengguna [8]. Daud et al. mengembangkan prototipe inkubator telur otomatis berbasis ESP32 dan IoT yang menunjukkan penerapan monitoring serta otomatisasi pada proses inkubasi[9]. Kone et al. mengembangkan intelligent incubator berbasis IoT dengan mengintegrasikan teknologi IoT dalam proses pengoperasian inkubator[10]. Penelitian Wahyuni dkk. mengembangkan Smart Egg Incubator berbasis IoT dan AI yang menempatkan teknologi IoT sebagai bagian dari sistem monitoring dan pengembangan inkubator modern[11]. Cahyo et al. mengembangkan inkubator berbasis IoT yang menggunakan sistem kendali PID dan aplikasi mobile untuk mendukung pengendalian serta monitoring kondisi inkubator[12]. Supriyadi et al. mengembangkan sistem control dan monitoring proses penetasan berbasis IoT [13], sedangkan Wijaya et al. mengembangkan sistem monitoring inkubator telur secara real-time menggunakan ESP32 dan Blynk[14]. Kajian mengenai sistem inkubator berbasis IoT juga telah merangkum perkembangan pendekatan monitoring dan kontrol pada inkubator telur. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa IoT telah digunakan untuk memperluas kemampuan inkubator dari sistem konvensional menjadi sistem yang dapat dipantau dan dikendalikan secara lebih terintegrasi.

Meskipun penelitian terdahulu telah mengembangkan berbagai fungsi monitoring, pengendalian, pembalikan telur, dan akses jarak jauh, fokus dan kombinasi fungsi yang diterapkan masih berbeda. Penelitian [9] dan [13]. menunjukkan pengembangan monitoring dan otomatisasi inkubator berbasis IoT, sedangkan penelitian [14]. lebih menekankan monitoring real-time menggunakan ESP32 dan Blynk. Penelitian [12]. menambahkan pengendalian berbasis PID dan aplikasi mobile, sementara [10] mengembangkan pendekatan IoT dan AI. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa penelitian terdahulu telah menyelesaikan sebagian kebutuhan monitoring dan otomatisasi inkubasi melalui pendekatan yang berbeda, tetapi masih terdapat ruang untuk mengembangkan prototipe yang mengintegrasikan beberapa fungsi utama dalam satu sistem semi otomatis dengan fokus pada monitoring kondisi inkubasi. Berdasarkan hasil kajian tersebut, research gap penelitian ini terletak pada integrasi monitoring kondisi inkubasi secara real-time dengan fungsi pendukung berupa pengendalian suhu, pembalikan telur otomatis, komunikasi data berbasis IoT, dan notifikasi terhadap perubahan kondisi inkubasi dalam satu prototipe semi otomatis. Integrasi tersebut diperlukan karena sistem monitoring saja belum secara langsung mengurangi kebutuhan terhadap aktivitas pembalikan telur dan respons terhadap perubahan kondisi, sedangkan otomatisasi pembalikan tanpa monitoring jarak jauh belum memberikan informasi kondisi inkubator secara menyeluruh kepada pengguna. Dengan demikian, terdapat ruang pengembangan sistem yang menggabungkan fungsi monitoring dan otomatisasi dasar dalam satu prototipe yang sederhana dan dapat diakses secara jarak jauh.

Berdasarkan research gap tersebut, penelitian ini mengembangkan Smart Egg Incubator Semi Otomatis untuk Monitoring Kondisi Inkubasi Berbasis Internet of Things. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor DHT22 untuk memperoleh data suhu dan kelembapan, heater dan kipas DC sebagai aktuator pengendalian suhu, motor servo untuk melakukan pembalikan telur secara otomatis, LCD I2C sebagai media informasi lokal, serta platform IoT sebagai media komunikasi dan monitoring data. Sistem juga dilengkapi mekanisme notifikasi yang memberikan informasi kepada pengguna ketika terjadi perubahan kondisi inkubasi berdasarkan batas yang telah ditentukan. Pengembangan sistem dilakukan untuk menghasilkan prototipe yang dapat membantu pengguna memantau kondisi inkubasi secara real-time sekaligus mengurangi kebutuhan pengawasan manual.

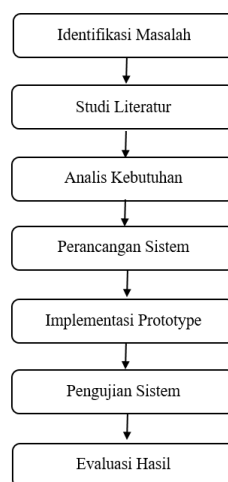
Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan prototipe semi otomatis yang mengintegrasikan monitoring kondisi inkubasi secara real-time, pengendalian suhu, pembalikan telur otomatis, komunikasi data berbasis IoT, dan notifikasi kondisi dalam satu sistem. Kontribusi tersebut diarahkan pada peningkatan kemudahan pemantauan dan respons pengguna terhadap kondisi inkubator tanpa menghilangkan fungsi otomatisasi dasar selama proses inkubasi. Sistem yang dikembangkan selanjutnya dievaluasi melalui pengujian fungsional terhadap sensor, pengendalian suhu, mekanisme pembalikan telur, komunikasi data, monitoring melalui perangkat pengguna, dan sistem notifikasi untuk mengetahui kesesuaian fungsi sistem dengan rancangan yang telah ditetapkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan prototyping untuk mengembangkan Smart Egg Incubator Semi Otomatis untuk Monitoring Kondisi Inkubasi Berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras

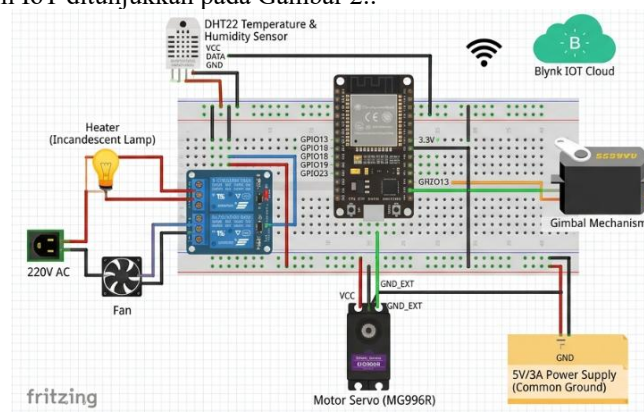
dan perangkat lunak, implementasi prototipe, serta pengujian dan evaluasi sistem. Identifikasi masalah dilakukan terhadap kendala proses inkubasi, terutama pemantauan suhu dan kelembapan, pengawasan kondisi inkubator, serta pembalikan telur secara manual. Studi literatur digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan sistem dan teknologi yang digunakan. Selanjutnya, sistem dirancang menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembapan, heater dan kipas DC sebagai aktuator pengendalian suhu, motor servo sebagai mekanisme pembalikan telur, LCD I2C 16×2 sebagai tampilan lokal, serta platform IoT sebagai media komunikasi dan monitoring data. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Tahap implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak menjadi prototipe yang dapat menjalankan fungsi monitoring, pengendalian suhu, pembalikan telur otomatis, komunikasi data IoT, dan notifikasi. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Penggunaan ESP32 dan sensor DHT22 sebagai bagian dari sistem monitoring inkubator juga telah diterapkan pada penelitian terdahulu[2]. sedangkan pendekatan IoT untuk monitoring temperatur inkubator telah dilaporkan pada penelitian berbasis Raspberry Pi [4]. Penerapan ESP32 dan IoT pada sistem monitoring dan kontrol di berbagai bidang juga telah dilaporkan, antara lain pada pengelolaan limbah[15]. pemantauan cuaca[16]. hidroponik [17] smart traffic light[18]. smart door lock[19]. monitoring kondisi tanah[20]. dan monitoring energi listrik[21].



Gambar 1 Tahapan Penelitian

2.2 Perancangan Sistem

Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendalian yang menerima data dari sensor DHT22 dan mengendalikan aktuator berdasarkan parameter yang telah diprogram. Pengendalian suhu menggunakan tiga kondisi, yaitu suhu di bawah 37°C, suhu pada rentang 37–38°C, dan suhu di atas 38°C. Pada suhu di bawah 37°C, heater aktif dan kipas tidak aktif; pada suhu 37–38°C, heater dan kipas tidak aktif; sedangkan pada suhu di atas 38°C, heater tidak aktif dan kipas aktif. Mekanisme pembalikan telur menggunakan motor servo dengan interval pembalikan 3 jam. Data suhu dan kelembapan yang diperoleh DHT22 dikirim melalui jaringan Wi-Fi ESP32 menuju platform IoT untuk ditampilkan pada perangkat pengguna. Sistem juga dilengkapi mekanisme notifikasi yang memberikan informasi kepada pengguna ketika kondisi inkubasi memenuhi kondisi pemicu yang telah ditentukan dalam perangkat lunak. Rancangan hubungan antara sensor, ESP32, aktuator, dan platform IoT ditunjukkan pada Gambar 2..



Gambar 2. Skema Rangkaian Sistem

2.3 Parameter dan Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan pendekatan black-box testing dengan mengamati kesesuaian keluaran sistem terhadap kondisi masukan tanpa menganalisis struktur internal program. Parameter dan skenario pengujian ditetapkan berdasarkan fungsi utama sistem, meliputi sensor DHT22, pengendalian suhu, pembalikan telur, monitoring IoT, dan notifikasi. Rincian parameter dan kriteria keberhasilan pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan Skenario Pengujian

No	Fungsi yang Diuji	Parameter/Kondisi	Jumlah/Skenario	Kriteria Keberhasilan
1	Sensor DHT22	Suhu dan kelembapan	5 pengukuran	Hasil pembacaan dapat dibandingkan dengan alat ukur referensi
2	Pengendalian suhu	Suhu < 37°C	1 skenario	Heater ON, kipas OFF
3	Pengendalian suhu	Suhu 37–38°C	1 skenario	Heater OFF, kipas OFF
4	Pengendalian suhu	Suhu > 38°C	1 skenario	Heater OFF, kipas ON
5	Pembalikan telur	Interval 3 jam	5 pengujian	Motor servo berputar sesuai jadwal
6	Monitoring IoT	Koneksi Wi-Fi	Fungsional	ESP32 berhasil terhubung ke jaringan
7	Monitoring IoT	Pengiriman data	Fungsional	Data berhasil dikirim ke platform IoT
8	Monitoring IoT	Monitoring smartphone	Fungsional	Data kondisi inkubator dapat ditampilkan
9	Monitoring IoT	Pembaruan data	Fungsional	Data monitoring dapat diperbarui
10	Notifikasi	Kondisi pemicu	Fungsional	Notifikasi diterima pengguna sesuai kondisi

2.4 Prosedur Pengujian

Pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan suhu dan kelembapan terhadap alat ukur digital sebagai nilai referensi pada lima kondisi pengukuran. Selisih pengukuran dihitung menggunakan persamaan ($E_i = |X_i - Y_i|$), dengan (X_i) merupakan hasil pembacaan DHT22 dan (Y_i) merupakan hasil pengukuran alat referensi. Pengujian pengendalian suhu dilakukan berdasarkan tiga skenario, yaitu suhu di bawah 37°C, 37–38°C, dan di atas 38°C. Sistem dinyatakan berhasil apabila respons heater dan kipas sesuai dengan parameter yang telah ditentukan pada Tabel 1. Pengujian mekanisme pembalikan telur dilakukan sebanyak lima kali dengan interval 3 jam dan dinyatakan berhasil apabila motor servo bergerak sesuai jadwal. Pengujian monitoring IoT dilakukan dengan mengamati koneksi Wi-Fi, pengiriman data, tampilan kondisi inkubator pada smartphone, dan pembaruan data. Pengujian notifikasi dilakukan dengan mengamati kesesuaian antara kondisi pemicu yang telah ditentukan dalam perangkat lunak dan notifikasi yang diterima pengguna.

2.5 Metode Evaluasi

Evaluasi dilakukan secara kuantitatif dan fungsional sesuai karakteristik masing-masing pengujian. Evaluasi sensor dilakukan berdasarkan selisih absolut antara hasil pembacaan DHT22 dan alat ukur referensi. Evaluasi pengendalian suhu dilakukan dengan membandingkan respons heater dan kipas terhadap tiga kondisi suhu yang telah ditetapkan, sedangkan evaluasi pembalikan telur dilakukan berdasarkan keberhasilan motor servo menjalankan pembalikan pada interval 3 jam. Monitoring IoT dievaluasi berdasarkan keberhasilan koneksi, pengiriman data, tampilan pada perangkat pengguna, dan

pembaruan informasi, sedangkan sistem notifikasi dievaluasi berdasarkan kesesuaian antara kondisi pemicu dan notifikasi yang diterima pengguna. Hasil seluruh pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kesesuaian fungsi prototipe dengan rancangan sistem dan kemampuan sistem dalam mendukung monitoring kondisi inkubasi secara real-time.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Impelementasi Sistem

Impelementasi Perangkat Keras. Implementasi perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen elektronik menjadi sebuah prototipe Smart Egg Incubator Semi Otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Komponen utama sistem terdiri atas ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, heater sebagai sumber panas, kipas DC untuk menjaga sirkulasi udara, motor servo sebagai mekanisme pembalikan telur otomatis, serta LCD I2C 16×2 sebagai media informasi lokal. Seluruh komponen dihubungkan sesuai dengan rancangan sistem sehingga mampu bekerja secara terintegrasi dalam menjaga kondisi inkubasi.



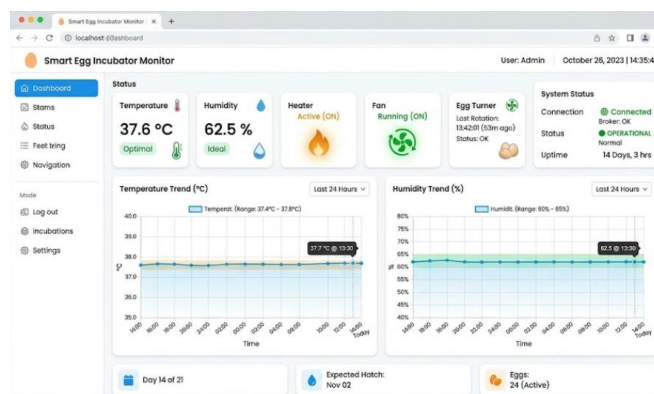
Gambar 3. Implementasi perangkat keras
 Spesifikasi komponen yang digunakan dalam prototipe disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Komponen Perangkat Keras

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	ESP32 DevKit V1	Wi-Fi 2.4 GHz	Pengendali utama sistem
2	Sensor DHT22	Suhu & Kelembapan	Monitoring kondisi inkubator
3	Heater	220 VAC	Pemanas ruang inkubator
4	Kipas DC	12 VDC	Sirkulasi udara
5	Motor Servo	SG90/MG996R	Pembalikan telur otomatis
6	LCD I2C	16×2	Menampilkan data lokal
7	Power Supply	5 VDC & 12 VDC	Catu daya sistem

Implementasi Perangkat Lunak. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++. Program mengatur proses inisialisasi komponen, pembacaan sensor DHT22, pengendalian heater dan kipas, pembalikan telur menggunakan motor servo, komunikasi jaringan Wi-Fi, pengiriman data ke platform IoT, serta mekanisme notifikasi. Data suhu dan kelembapan dibaca oleh ESP32 kemudian digunakan sebagai informasi kondisi inkubator dan dasar pengendalian suhu. Berdasarkan parameter yang telah ditentukan, heater aktif ketika suhu berada di bawah 37°C, heater dan kipas tidak aktif pada rentang 37–38°C, sedangkan kipas aktif ketika suhu melebihi 38°C. Mekanisme pembalikan telur diprogram dengan interval 3 jam..

Dashboard monitoring digunakan sebagai antarmuka untuk menampilkan informasi kondisi inkubator kepada pengguna. Informasi yang tersedia meliputi suhu, kelembapan, status heater, status kipas, dan informasi pembalikan telur. Dashboard juga digunakan untuk membantu pengguna mengamati perubahan kondisi inkubator selama sistem beroperasi. Tampilan dashboard monitoring ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar. Tampilan Dashboard Monitoring

3.2 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan menggunakan metode black-box untuk mengetahui kesesuaian fungsi sistem terhadap skenario yang telah ditentukan. Pengujian meliputi sensor suhu dan kelembapan, pengendalian suhu, pembalikan telur otomatis, monitoring IoT, serta sistem notifikasi. Hasil pengujian tidak hanya diamati berdasarkan status berhasil atau tidak berhasil, tetapi juga dianalisis berdasarkan nilai pengukuran dan jumlah keberhasilan pada setiap skenario.

3.2.1 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan

Pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur digital sebagai nilai referensi. Lima pengukuran digunakan untuk mengetahui perbedaan pembacaan suhu dan kelembapan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor DHT22

No	Suhu Referensi (°C)	Suhu DHT22 (°C)	Selisih (°C)	Kelembapan Referensi (%)	DHT22 (%)	Selisih (%)
1	37,5	37,4	0,1	60	61	1
2	37,8	37,9	0,1	62	62	0
3	38	37,9	0,1	65	64	1
4	37,6	37,7	0,1	63	63	0
5	37,7	37,6	0,1	61	62	1

Berdasarkan Tabel 3, selisih suhu pada seluruh pengujian adalah 0,1°C. Dengan demikian, rata-rata selisih absolut suhu adalah 0,1°C. Pada parameter kelembapan, selisih pengukuran berada pada rentang 0–1% RH dengan rata-rata selisih absolut sebesar 0,6% RH. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan DHT22 pada lima skenario pengujian memiliki perbedaan yang relatif kecil terhadap alat ukur referensi. Secara fungsional, seluruh lima pengukuran dapat dibandingkan dengan nilai referensi tanpa ditemukan perbedaan yang besar pada hasil pembacaan.

3.2.2 Pengujian Pengendalian Suhu dan Kelembapan

Pengujian pengendalian suhu dilakukan menggunakan tiga skenario berdasarkan threshold yang diprogram pada ESP32. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Pengendalian Suhu

Kondisi	Heater	Kipas	Status
Suhu < 37°C	ON	OFF	Berhasil
Suhu 37–38°C	OFF	OFF	Berhasil
Suhu > 38°C	OFF	ON	Berhasil

Tiga skenario pengujian menunjukkan bahwa respons aktuator sesuai dengan parameter pengendalian yang telah ditetapkan. Pada kondisi suhu di bawah 37°C, heater aktif untuk meningkatkan suhu, sedangkan pada kondisi suhu di atas 38°C kipas aktif untuk membantu menurunkan suhu. Pada rentang 37–38°C, kedua aktuator berada dalam kondisi tidak aktif. Dengan demikian, 3 dari 3 skenario pengujian berhasil, atau tingkat keberhasilan fungsional sebesar 100% untuk pengujian respons heater dan kipas terhadap threshold suhu.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa logika pengendalian suhu pada prototipe telah bekerja sesuai rancangan. Namun, hasil ini menunjukkan keberhasilan respons aktuator berdasarkan skenario yang diuji dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan kestabilan suhu selama keseluruhan periode inkubasi..

3.2.3 Pengujian Mekanisme Pembalikan Telur

Pengujian pembalikan telur dilakukan menggunakan motor servo dengan interval 3 jam. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 45 Hasil Pengujian Pembalikan Telur

Pengujian	Interval	Status Servo	Hasil
1	3 jam	Berputar	Berhasil
2	3 jam	Berputar	Berhasil
3	3 jam	Berputar	Berhasil
4	3 jam	Berputar	Berhasil
5	3 jam	Berputar	Berhasil

Seluruh pengujian menunjukkan bahwa motor servo dapat melakukan pergerakan sesuai interval yang diprogram. Dengan demikian, tingkat keberhasilan mekanisme pembalikan pada lima pengujian adalah 5/5 atau 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mekanisme servo dapat menjalankan fungsi pembalikan telur sesuai jadwal yang telah ditentukan. Temuan ini mendukung tujuan sistem untuk mengurangi aktivitas pembalikan telur secara manual, meskipun pengujian tersebut masih berfokus pada keberhasilan pergerakan mekanisme dan belum mengevaluasi pengaruhnya terhadap tingkat keberhasilan penetasan telur.

3.2.4 Pengujian Monitoring IOT

Pengujian monitoring IoT dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan koneksi jaringan, mengirimkan data, menampilkan data pada smartphone, dan memperbarui informasi monitoring. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Monitoring IoT

Parameter	Status
Koneksi Wi-fi	Berhasil
Pengiriman Data	Berhasil
Monitoring Smartphone	Berhasil
Pembaruan Data	Real Time

Empat parameter fungsional yang diuji menunjukkan hasil berhasil. Dengan demikian, seluruh fungsi dasar komunikasi dan monitoring IoT yang diuji dapat berjalan sesuai rancangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi ESP32 dengan jaringan Wi-Fi dan platform IoT telah dapat digunakan untuk mendukung monitoring kondisi inkubator melalui perangkat pengguna. Akan tetapi, pengujian ini bersifat fungsional sehingga belum mengukur parameter performa jaringan seperti latensi, packet loss, atau reliabilitas koneksi dalam periode pengujian yang panjang.

3.2.5 Pengujian Sistem Notifikasi

Pengujian sistem notifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat memberikan informasi kepada pengguna ketika kondisi inkubasi memenuhi kondisi pemicu yang telah ditentukan dalam perangkat lunak. Berdasarkan implementasi sistem, notifikasi digunakan sebagai mekanisme peringatan terhadap perubahan kondisi inkubasi sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi yang memerlukan perhatian tanpa harus melakukan pemeriksaan secara langsung pada perangkat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi notifikasi dapat berjalan sesuai rancangan pada skenario pengujian yang dilakukan. Temuan ini menunjukkan bahwa notifikasi dapat digunakan sebagai fungsi pendukung monitoring jarak jauh. Namun, evaluasi pada tahap ini difokuskan pada keberhasilan fungsi notifikasi dan belum mencakup pengukuran kuantitatif seperti waktu tunda pengiriman notifikasi atau tingkat keberhasilan penerimaan dalam periode pengujian yang panjang.

3.3 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Smart Egg Incubator Semi Otomatis yang dikembangkan telah mampu menjalankan fungsi utama yang dirancang, yaitu membaca kondisi suhu dan kelembapan, merespons perubahan suhu melalui heater dan kipas, melakukan pembalikan telur secara otomatis, serta mengirimkan informasi kondisi inkubator melalui platform IoT. Pada pengujian sensor, rata-rata selisih absolut suhu sebesar 0,1°C dan kelembapan sebesar 0,6% RH menunjukkan bahwa hasil pembacaan DHT22 memiliki perbedaan yang kecil terhadap alat ukur referensi pada lima kondisi pengujian. Sementara itu, pengendalian suhu menghasilkan keberhasilan 100% pada tiga skenario, mekanisme pembalikan menghasilkan keberhasilan 100% pada lima pengujian, dan seluruh fungsi monitoring IoT yang diuji menunjukkan hasil berhasil. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa prototipe telah mampu menjalankan fungsi monitoring dan otomatisasi dasar sesuai rancangan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Daud et al [9]. yang mengembangkan prototipe inkubator otomatis berbasis ESP32 dan IoT serta menunjukkan pemanfaatan ESP32 untuk mendukung monitoring dan otomatisasi inkubasi. Penelitian Supriyadi[13]. juga menunjukkan penerapan IoT untuk fungsi monitoring dan kontrol proses penetasan. Sementara itu, Wijaya et al [14]. menunjukkan penerapan ESP32 dan Blynk untuk monitoring inkubator secara real-time. Penelitian Cahyo et al[12]. menggunakan pendekatan pengendalian PID dan aplikasi mobile, sedangkan Wahyuni et al[11]. mengembangkan pendekatan IoT dan AI pada smart egg incubator. Dibandingkan dengan penelitian tersebut, penelitian ini menempatkan integrasi monitoring kondisi inkubasi, pengendalian suhu, pembalikan telur otomatis, dan notifikasi sebagai fungsi dalam satu prototipe semi otomatis berbasis IoT. Dengan demikian, kontribusi penelitian terletak pada integrasi fungsi-fungsi tersebut dalam satu sistem yang berorientasi pada kemudahan monitoring kondisi inkubasi. Perbandingan karakteristik penelitian ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Penelitian

Penelitian	Monitoring Real-Time	Pembalikan Otomatis	Notifikasi	IoT	Fokus/Kontribusi
Cahyo et al. [12]	✓	✓	✗	✓	Pengendalian PID dan aplikasi mobile
Wahyuni et al. [10]	✓	✗	✓	✓	Monitoring dan AI
Daud et al. [8]	✓	✓	✗	✓	ESP32 dan otomatisasi inkubator
Penelitian ini	✓	✓	✓	✓	Integrasi monitoring, pengendalian suhu,

Berdasarkan perbandingan tersebut, penelitian terdahulu telah menunjukkan berbagai pendekatan dalam pengembangan inkubator berbasis IoT, tetapi masing-masing memiliki fokus dan kombinasi fungsi yang berbeda. Penelitian Cahyo et al. [12] menekankan pengendalian PID dan aplikasi mobile, penelitian Wahyuni et al. [10] mengintegrasikan IoT dan AI, sedangkan Daud et al. [8] menekankan penggunaan ESP32 untuk inkubator otomatis. Penelitian ini mengambil posisi pada integrasi monitoring kondisi inkubasi dengan fungsi otomatisasi dasar dan notifikasi dalam satu prototipe semi otomatis. Integrasi tersebut memberikan pendekatan yang lebih praktis untuk mengurangi kebutuhan pengawasan manual, khususnya dalam pemantauan kondisi suhu dan kelembapan serta pelaksanaan pembalikan telur.

Meskipun hasil pengujian menunjukkan keberhasilan fungsi pada seluruh skenario yang dilakukan, penelitian ini masih memiliki keterbatasan. Pengujian sensor dilakukan pada lima kondisi pengukuran, pengendalian suhu dievaluasi berdasarkan tiga skenario threshold, dan mekanisme pembalikan diuji sebanyak lima kali. Oleh karena itu, hasil tersebut lebih tepat digunakan untuk menunjukkan keberhasilan fungsional prototipe, bukan untuk menyimpulkan performa sistem dalam seluruh siklus inkubasi. Selain itu, penelitian ini belum melakukan pengukuran kuantitatif terhadap latensi komunikasi IoT, packet loss, waktu respons notifikasi, maupun pengaruh sistem terhadap persentase keberhasilan penetasan. Pengujian pada periode inkubasi yang lebih panjang dan kondisi operasional yang lebih beragam dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk memperoleh evaluasi performa yang lebih komprehensif.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan Smart Egg Incubator Semi Otomatis untuk Monitoring Kondisi Inkubasi Berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan monitoring suhu dan kelembapan secara real-time, pengendalian suhu, pembalikan telur otomatis, komunikasi data, dan notifikasi dalam satu prototipe. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki rata-rata selisih absolut sebesar 0,1°C untuk suhu dan 0,6% RH untuk kelembapan

terhadap alat ukur referensi pada lima pengukuran, sedangkan pengendalian suhu berhasil pada tiga skenario pengujian dan mekanisme pembalikan telur berhasil pada lima pengujian dengan interval 3 jam, masing-masing dengan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 100%. Pengujian monitoring IoT juga menunjukkan bahwa koneksi Wi-Fi, pengiriman data, monitoring melalui smartphone, dan pembaruan data dapat berjalan sesuai rancangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan mampu mendukung monitoring kondisi inkubasi secara real-time dan mengurangi ketergantungan terhadap pengawasan manual melalui integrasi fungsi monitoring dan otomatisasi dasar berbasis IoT. Meskipun demikian, hasil penelitian masih terbatas pada pengujian fungsional dengan jumlah dan skenario pengujian yang terbatas sehingga belum dapat digunakan untuk menyimpulkan performa sistem selama keseluruhan siklus inkubasi maupun pengaruhnya terhadap tingkat keberhasilan penetasan.

REFERENCES

- [1] M. A. S. Rendy Aginta Tarigan, Achmad Fauzi, “Rancang Bangun Inkubator Penetasan Telur Bebek Berbasis Internet of Things (IoT),” *Indones. J. Sci. Technol. Humanit.*, vol. 2, no. 3, pp. 223–231, 2025.
- [2] S. Usman Puji Rahayu, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Inkubator Telur Otomatis Berbasis Iot Menggunakan Sensor Dht22 Dan Mikrokontroler Esp-32,” *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.*, vol. 5, no. 7, pp. 2117–2129, 2025.
- [3] D. Zakaria *et al.*, “Egg Incubator Control System : A Review,” *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 05, no. 1, pp. 33–37, 2023.
- [4] S. Purwanti, A. Febriani, Y. Irawan, and C. Author, “Temperature Monitoring System for Egg Incubators Using Raspberry Pi3 Based on Internet of Things (IoT),” *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 5, pp. 349–352, 2021.
- [5] Y. Lianawati *et al.*, “Sistem Monitoring dan Controlling ‘ Smart Waste ’ Berbasis Internet of Things Menggunakan Modul ESP 32 The Internet of Things-based ” Smart waste ” Monitoring and Controlling System Uses the ESP 32 Module,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 06, no. 02, pp. 163–175, 2024.
- [6] S. Anita Rahmawati, “Implementasi Mikrokontroler ESP32 dan Sensor DHT11 dalam Sistem Monitoring Lingkungan untuk Pencegahan Jamur Tembok Berbasis Internet of Things (IoT),” *J-MASIF (URNAL Manaj. Sist. INFORMASI)*, vol. 5, no. 1, pp. 35–46, 2026.
- [7] S. Abdul Aziz, “Implementasi Mikrokontroler ESP32 Dan Sensor Kualitas Air Dalam Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis Internet of Things,” *J-MASIF (URNAL Manaj. Sist. INFORMASI)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2026.
- [8] M. Hidayat *et al.*, “Sistem inkubator penetasan telur cerdas berbasis iot menggunakan flutter mutiplatform,” *JIP (Jurnal Inform. Polinema)*, vol. 12, no. 3, pp. 579–588, 2022.
- [9] M. Daud, F. A. Nasution, M. Jannah, and A. Azmin, “Prototype of Automatic Egg Incubator with Internet of Things Based on ESP32 Microcontroller,” *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 55–64, 2026.
- [10] T. Kone *et al.*, “Design and Development of an Iot-Based Intelligent Incubator,” *Eng. Technol. J.*, vol. 09, no. 01, pp. 3396–3401, 2024.
- [11] R. Wahyuni, Y. Irawan, A. Febriani, and H. Tri, “Smart Egg Incubator Based on IoT and AI Technology for Modern Poultry Farming,” *Ilk. J. Ilm.*, vol. 16, no. 2, pp. 134–144, 2024.
- [12] M. Cahyo, A. Prabowo, I. Sayekti, S. Astuti, and S. Tebe, “Development of an IoT-Based Egg Incubator with PID Control System and Mobile Application,” *Int. J. INFORMATICS Vis.*, vol. 8, no. March, pp. 465–472, 2024.
- [13] E. Supriyadi, F. Marwita, I. Ilyas, and W. Dwicaksana, “Control and Monitoring System of Egg Hatching in Egg Hatching Incubator Based on Internet of Things (IoT),” *IJAM Int. J. Adv. Multidiscip.*, vol. 4, no. 2, pp. 320–332, 2025.
- [14] A. Wijaya, S. Aini, and K. M. S. W. Hidayat, “A Real-Time Egg Incubator Monitoring System with ESP32 and Blynk,” *J. Artif. Intell. Softw. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 616–625, 2025.
- [15] K. Setiawan and R. F. Aula, “Penerapan IoT dengan Algoritma Fuzzy dan Mikrokontroler ESP32 dalam Monitoring Penyiraman Abstrak,” *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 5, no. 3, pp. 2915–2924, 2024.
- [16] K. Prayoga, A. Z. Arfianto, D. P. Riananda, M. K. Hasin, and R. Y. Adhitya, “JOURNAL OF APPLIED SMART ELECTRICAL NETWORK AND SYSTEMS (JASENS) Integrasi Sistem ESP32 dengan Pemantauan Cuaca Menggunakan Sensor Meteorologi Berbasis Website,” *J. Appl. SMART Electr. Netw. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 23–31, 2025.
- [17] V. Ferdiansyah, S. A. Oktavia, Y. Mulyanto, and W. Yunanri, “Rancang Bangun Prototype Sistem Monitoring Dan Kontrol Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Microcontroller ESP32,” *Bull. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 238–246, 2025.
- [18] J. A. Ramadhani, A. Urip, A. Wibowo, and M. Diono, “Prototipe Smart Traffic Light (STL) berdasar Panjang Antrian menggunakan Internet of Things (IoT),” *Bull. Inf. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 75–83, 2026.
- [19] R. F. Rizky *et al.*, “Sistem Smart Door Lock Menggunakan Voice Recognition Berbasis Arduino,” *Bull. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 239–244, 2023.
- [20] B. G. Suseno, E. M. Saputra, D. Hidayat, T. Nugroho, P. Studi, and T. Elektro, “PERANCANGAN SISTEM MONITORING KONDISI TANAH DAN,” *J. Sist. Inf. dan Teknol. Komputasi*, vol. 1, pp. 171–181, 2024.
- [21] K. T. Jasman Wanfaber Parmingotan Saragih, Dewi Sholeha, Sri Ulina, Joslen Sinaga, “Impression : Jurnal Teknologi dan Informasi Penerapan Media Pembelajaran Sistem Monitoring Energi Listrik,” *Impr. J. Teknol. dan Informas*, vol. 4, no. 3, pp. 297–306, 2025.