



Rancang Bangun Inkubator Telur Otomatis Berbasis Arduino Uno Dengan Dinding Berlapis Aluminium Foil Untuk Kestabilan Suhu dan Kelembaban

Design and Construction of an Automatic Egg Incubator Based on Arduino Uno with Aluminum Foil-Coated Walls for Temperature and Humidity Stability

Alfi Sopyan¹⁾; Komarudin²⁾

^{1,2)} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara, Jln. Tanjung Duren Barat II No. 1 Grogol, Jakarta Barat.

Email: ¹⁾ 1511211034@mahasiswa.undira.ac.id ; ²⁾ komarudin@undira.ac.id

How to Cite :

Sopyan, A., Komarudin. (2025). Rancang Bangun Inkubator Telur Otomatis Berbasis Arduino Uno Dengan Dinding Berlapis Aluminium Foil Untuk Kestabilan Suhu dan Kelembaban. *Sinta Journal* ,6 (1), 95-114. DOI: <https://doi.org/10.37638/sinta.6.1.95-114>

ARTICLE HISTORY

Received [12 May 2025]

Revised [28 May 2025]

Accepted [05 June 2025]

KEYWORDS

Arduino Uno, egg incubator, thermal efficiency, aluminum foil, heat transfer, automation

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Perancangan ini bertujuan untuk merancang dan membangun inkubator telur otomatis berbasis Arduino Uno R3 dengan lapisan aluminium foil pada dinding bagian dalam untuk meningkatkan kestabilan suhu dan kelembapan. Sistem dilengkapi sensor DHT22, mist maker untuk menjaga kelembapan, lampu pijar 20 watt sebagai pemanas, dan motor sinkron untuk membalik telur secara otomatis setiap 6 jam. Informasi suhu dan kelembapan ditampilkan secara real-time melalui LCD, dan alat bekerja mandiri selama 21 hari masa inkubasi. Pengujian menunjukkan sistem mampu menjaga kestabilan suhu dan kelembapan dengan simpangan baku rendah, serta efisien dalam konsumsi energi ($\pm 0,168$ kWh/hari). Pelapisan aluminium foil terbukti menurunkan kehilangan panas hingga 97% melalui radiasi, serta menghemat energi sebesar 20–30%. Sistem pemutar telur berjalan efektif dengan torsi sangat rendah (0,00515 Nm), di bawah batas kemampuan motor. Keberhasilan alat juga ditunjang sistem pendukung berupa pemantau kestabilan sistem utama. Sistem ini mendeteksi error pada sensor atau tampilan LCD, lalu mereset Arduino utama secara otomatis agar alat tetap berjalan stabil tanpa perlu intervensi manual. Tingkat keberhasilan penetasan mencapai 90% dari 21 telur yang diuji, dengan 2 telur yang gagal menetas.

ABSTRACT

Abstrak This study aims to design and develop an automatic egg incubator based on Arduino Uno R3 with aluminum foil

lining on the inner walls to enhance temperature and humidity stability. The system is equipped with DHT22 sensor, mist maker for maintaining humidity, 20-watt incandescent bulb as heater, and synchronous motor for automatic egg turning every 6 hours. Temperature and humidity information are displayed in real-time through LCD, and the device operates autonomously for 21 days of incubation period. Testing results show that the system maintains stable temperature and humidity with low standard deviation, as well as energy efficiency (± 0.168 kWh/day). Aluminum foil lining proves effective in reducing heat loss up to 97% through radiation, and saving energy by 20-30%. The egg turning system operates effectively with very low torque (0.00515 Nm), well below the motor's capacity. The device's success is also supported by a monitoring system for main system stability. This system detects errors in sensors or LCD display, then automatically resets the main Arduino to ensure stable operation without manual intervention. The hatching success rate reaches 90% from 21 tested eggs, with 2 eggs failing to hatch.

PENDAHULUAN

Proses penetasan telur merupakan tahapan penting dalam siklus produksi unggas, di mana kestabilan suhu dan kelembaban menjadi faktor krusial yang menentukan keberhasilan penetasan. Metode penetasan alami, meskipun masih digunakan, memiliki keterbatasan signifikan, seperti kapasitas telur yang terbatas, ketergantungan terhadap perilaku induk ayam, serta sensitivitas tinggi terhadap fluktuasi lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, penggunaan mesin penetas telur otomatis berbasis mikrokontroler semakin banyak dikembangkan dalam rangka meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pengaturan suhu serta kelembaban [1].

Salah satu pendekatan modern yang menjanjikan adalah pemanfaatan Arduino Uno sebagai unit kendali utama yang terhubung dengan sensor DHT22, mist maker, lampu pemanas, dan motor synchronous untuk pembalik telur. Komponen ini memungkinkan sistem untuk mengatur kondisi inkubasi secara real-time dan otomatis. Tidak hanya itu, ditambahkan antarmuka pengguna berbasis LCD I2C memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi lingkungan secara langsung dengan cara yang sederhana dan efisien [2].

Namun, berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa meskipun sistem otomatisasi suhu telah banyak diimplementasikan, efisiensi termal ruang inkubasi masih menjadi kendala utama. Rancangan sebelumnya umumnya menggunakan dinding triplek tanpa lapisan isolatif tambahan, yang berakibat pada distribusi panas yang tidak merata dan kerentanan terhadap suhu lingkungan luar. Hal ini mempengaruhi kestabilan suhu internal dan secara langsung berdampak pada keberhasilan penetasan [3].

Perancangan sebelumnya oleh Rudi Hartono, M. Fathuddin, dan Ahmad Izzuddin dari Universitas Panca Marga Probolinggo, dalam karya ilmiah berjudul Rancangan dan Pembuatan Inkubator Telur Otomatis Berbasis Arduino. Dalam rancangannya, sistem inkubator telah menggunakan sensor DHT22 untuk mengontrol suhu dan kelembaban, serta motor servo sebagai aktuator untuk membalik rak telur. Meskipun sistem tersebut telah otomatis, namun beberapa aspek masih dapat ditingkatkan, di antaranya:

1. Isolasi termal dinding inkubator belum maksimal karena hanya menggunakan material triplek tanpa pelapis aluminium foil.

2. Mekanisme pemutar telur menggunakan rak ayun yang memiliki keterbatasan presisi sudut dan kestabilan gerak.
3. Sistem pelembab masih pasif, mengandalkan wadah air, dan belum dilengkapi dengan mist maker aktif untuk menjaga kelembaban secara konsisten.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, perancangan ini mengusulkan inovasi berupa penggunaan aluminium foil pada dinding bagian dalam inkubator, yang bertujuan meningkatkan efisiensi refleksi panas serta menurunkan kehilangan panas secara konduksi. Penambahan ini dikombinasikan dengan sistem sirkulasi udara internal dan pelembab aktif, yaitu mist maker, yang berfungsi menjaga kestabilan kelembaban selama proses inkubasi berlangsung [4][5]. Lebih jauh, sistem pemutar telur otomatis yang dirancang menggunakan mekanisme rak geser horizontal dengan motor synchronous 60KTYZ memberikan stabilitas gerak yang lebih baik dibandingkan mekanisme rak ayun.

Perancangan ini juga dilakukan dengan prosedur pengamatan sistematis selama 21 hari penuh masa inkubasi, dengan pencatatan parameter suhu, kelembaban, dan uji keandalan fungsi komponen selama 7 hari sebelum telur diuji untuk ditetaskan. Validasi dilakukan melalui pemeriksaan konsistensi data dan catatan lapangan, serta candling telur pada hari ke-7 guna memantau perkembangan embrio. Pendekatan ini memastikan bahwa seluruh parameter operasional diuji dalam kondisi inkubasi yang merepresentasikan situasi nyata di lapangan. Dengan memadukan pendekatan teknis melalui integrasi Arduino dan komponen otomasi lain serta pendekatan ilmiah melalui validasi data eksperimen, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan daya tetas telur unggas secara signifikan. Selain itu, rancang bangun sistem ini diharapkan memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan teknologi peternakan unggas modern yang efisien, adaptif terhadap kondisi lingkungan, dan mudah diakses oleh masyarakat luas.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir

Berikut adalah diagram yang menunjukkan perancangan alat



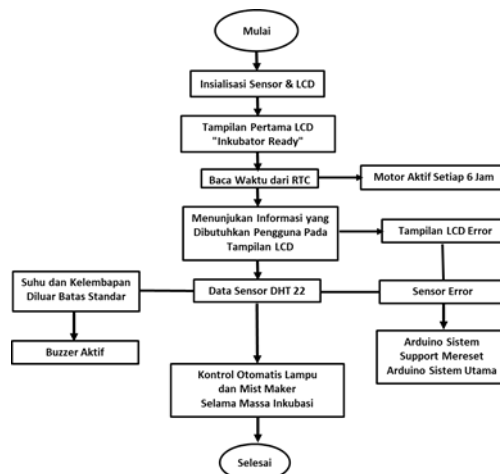
Gambar 1. Diagram alir perancangan alat

Diagram alir perancangan ini menggambarkan alur sistematis dari proses perancangan inkubator telur otomatis berbasis mikrokontroler. Proses dimulai dari identifikasi masalah rendahnya efisiensi penetasan konvensional, dilanjutkan dengan penetapan tujuan, yaitu mengembangkan sistem otomatis yang dapat menjaga kestabilan suhu dan kelembapan tanpa intervensi manual.

Tahap selanjutnya mencakup studi literatur sebagai dasar teoritis perancangan, meliputi sistem kontrol suhu dan kelembapan menggunakan Arduino Uno, sensor DHT22, serta efisiensi termal dari penggunaan aluminium foil. Setelah itu, dilakukan perancangan sistem, seleksi komponen, serta pengumpulan data teknis seperti dimensi ruang, kebutuhan energi, dan karakteristik lingkungan inkubasi.

Prototipe yang telah dibangun kemudian diuji untuk menilai kestabilan suhu (37–38 °C), kelembapan (50–65%), serta kinerja sistem pemutar telur otomatis. Hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif untuk menilai efisiensi, daya tahan, dan kemudahan penggunaan. Tahapan akhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil evaluasi, yang menunjukkan bahwa alat yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi penetasan dan cocok diaplikasikan pada skala kecil hingga menengah.

Berikut adalah diagram yang menunjukkan cara kerja system incubator



Gambar 2. Diagram Alir Cara Kerja Sistem

Sistem inkubator telur otomatis berbasis Arduino Uno dirancang untuk bekerja secara mandiri dengan urutan kerja yang sistematis. Proses diawali dengan inisialisasi perangkat seperti sensor suhu dan kelembapan (DHT22), modul RTC DS3231, dan LCD I2C. Informasi waktu dari RTC digunakan untuk menyesuaikan parameter suhu dan kelembapan berdasarkan umur inkubasi telur, yaitu 37,2–37,8°C dan 53–57% kelembapan pada hari ke-1 hingga ke-18, serta 36,5–37°C dan 65–75% pada hari ke-19 hingga ke-21.

Arduino secara terus-menerus membaca data dari sensor. Jika suhu turun di bawah ambang batas, lampu pemanas akan menyala melalui relay, sebaliknya, jika suhu melebihi batas, pemanas dimatikan. Sistem mist maker juga dikontrol otomatis untuk menjaga kelembapan. Telur diputar melalui rak geser setiap 6 jam selama 10 detik oleh motor synchronous berdasarkan waktu RTC, guna mencegah embrio menempel pada cangkang.

Untuk menjaga keandalan, sistem utama diawasi oleh Arduino pendukung. Arduino ini menerima sinyal heartbeat dan mendeteksi gangguan pada sensor atau

tampilan LCD. Jika terjadi error atau sistem utama tidak merespons, Arduino pendukung akan melakukan reset otomatis agar sistem kembali berjalan normal. Dengan pendekatan ini, proses penetasan berlangsung stabil dan efisien tanpa banyak intervensi manual, serta meminimalkan risiko gangguan selama masa inkubasi.

Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem inkubator otomatis, khususnya dalam menjaga kestabilan suhu, kelembaban, dan keandalan kerja komponen selama masa inkubasi. Prosedur ini dirancang secara sistematis agar hasilnya dapat digunakan sebagai dasar analisis dan validasi kinerja alat.

Tahap Persiapan

Sebelum proses inkubasi dimulai, seluruh rangkaian diuji selama 24 jam dalam 7 hari berturut-turut untuk memastikan ketahanan sistem. Parameter suhu dan kelembaban juga telah diatur sesuai periode inkubasi, yaitu:

- Hari ke-1 hingga ke-18: suhu 37,2–37,8 °C dan kelembaban 53–57%.
- Hari ke-19 hingga ke-21: suhu diturunkan ke 36,5–37 °C dan kelembaban dinaikkan menjadi 65–75%.

Tahap Pengamatan dan Pencatatan

Selama proses inkubasi, data suhu dan kelembaban dibaca melalui sensor DHT22 dan ditampilkan di LCD. Data dicatat secara manual tiga kali sehari, yakni pukul 06:00, 12:00, dan 18:00 menggunakan lembar kontrol. Selain itu, dilakukan pemantauan terhadap status komponen seperti lampu, motor, mist maker, serta fungsi tampilan LCD.

Data pencatatan berlangsung selama 21 hari penuh sesuai siklus inkubasi. Untuk mendeteksi perkembangan embrio, candling atau peneropongan telur dilakukan pada hari ke-7.

Tabel 1. Parameter yang Diamati

Parameter	Alat/Metode Pengukuran	Frekuensi
Suhu (°C)	Sensor DHT22, LCD, Checksheet	06:00, 12:00, 18:00
Kelembaban (%)	Sensor DHT22, LCD, Checksheet	06:00, 12:00, 18:00
Status Komponen	Observasi manual, indikator LCD	Harian
Telur	Candling (peneropongan telur)	Hari ke-7

Validasi Data

Validasi dilakukan melalui dua pendekatan:

1. Pemeriksaan konsistensi, untuk mengidentifikasi nilai anomali yang mungkin muncul akibat gangguan sistem atau lingkungan ekstrem.
2. Catatan lapangan, mencatat setiap kejadian tidak normal, kesalahan teknis, serta tindakan perbaikan yang diambil untuk memastikan kelangsungan proses inkubasi.

Bahan dan Komponen Sistem

Perancangan inkubator telur otomatis dalam penelitian ini menggunakan kombinasi material struktural dan komponen elektronik yang disesuaikan untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembaban selama proses inkubasi. Bahan utama meliputi rangka kayu dan dinding triplek 12mm berlapis aluminium foil sebagai isolator termal di bagian dalam inkubator. Bagian pengamatan menggunakan kaca akrilik agar pengguna dapat memantau tanpa membuka ruang inkubasi.

Untuk membangun sistem inkubator telur otomatis berbasis Arduino Uno, digunakan sejumlah komponen perangkat keras dan lunak yang saling terintegrasi. Sistem ini dirancang agar mampu mengontrol suhu dan kelembaban, memutar rak telur secara otomatis, serta menampilkan informasi secara real-time. Adapun rincian komponen yang digunakan dalam pembuatan alat ini ditunjukkan pada tabel 2 berikut:

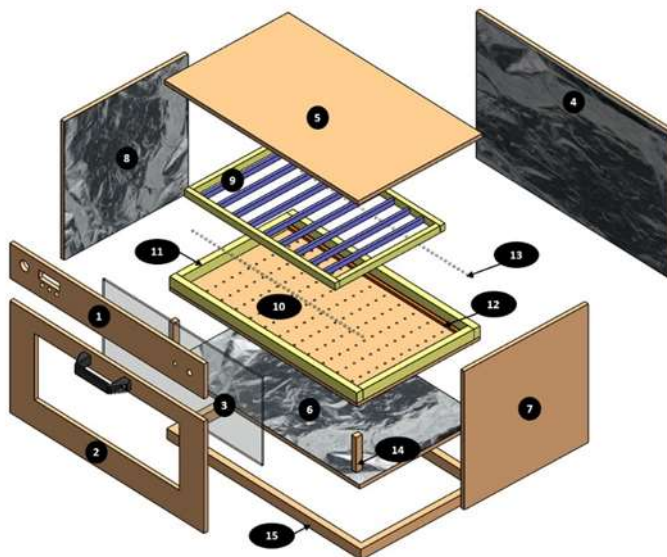
Tabel 1.2 Komponen Perangkat Keras Sistem Inkubator

No	Komponen	Jumlah
1	Arduino Uno R3	2 unit
2	Sensor DHT22	1 unit
3	Motor Synchronous 60KTYZ	1 unit
4	Mist Maker	1 unit
5	Modul Step Up XL6009	1 unit
6	RTC DS3231	2 unit
7	LCD I2C 16x2	1 unit
8	Kipas DC 12V	2 unit
9	Lampu Pijar 10 Watt	2 unit
10	Relay 4 Channel	2 unit
11	Power Supply DC 12V 20A	1 unit
12	Buzzer	1 unit
13	Push Button	3 unit
14	Saklar 5-36 V	1 unit
15	Saklar 220 V	1 unit
16	Kabel Jumper	Secukupnya

Untuk perangkat lunak, digunakan Arduino IDE sebagai platform pemrograman dan upload program ke Arduino Uno. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C++, dengan pustaka tambahan seperti DHT.h, Wire.h, dan RTClib.h untuk mendukung komunikasi antar modul.

Desain Inkubator

Desain inkubator dibuat secara menyeluruh melalui proses pemodelan 3D berbasis perangkat lunak SolidWorks. Model meliputi bagian-bagian utama seperti dinding inkubator, rangka rak, rak geser, sistem rel, serta kaki penyangga. Seluruh komponen kemudian dirakit dalam tampilan explode view untuk memudahkan visualisasi fungsi dan hubungan antarbagian sebelum tahap perakitan fisik.

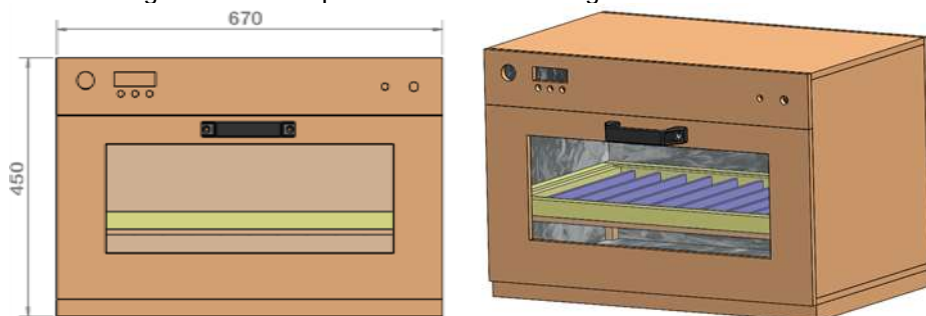


Gambar 3 Explode View Inkubator

Keterangan :

1. Dinding depan A
2. Dinding depan B
3. Kaca akrilik 55 x 25 cm
4. Dinding belakang
5. Dinding atas
6. Dinding bawah
7. Dinding kanan
8. Dinding kiri
9. Rak geser
10. Alas rak triplek 8 mm
11. Rangka rak
12. Ball bearing $\varnothing$ 5 mm
13. Rel rak geser
14. Penyangga rangka rak 1,5 x 2 x 10 cm
15. Kaki inkubator

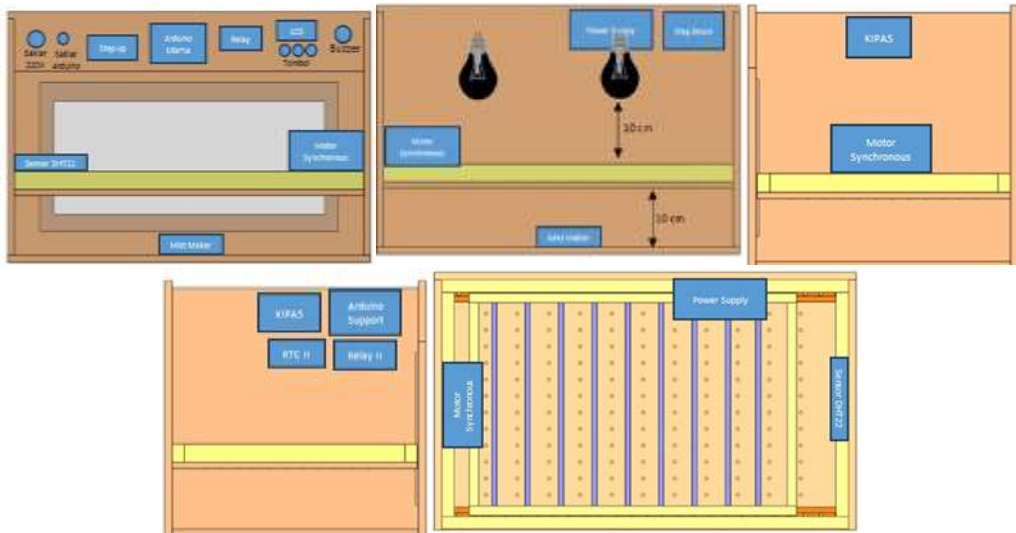
Berikut adalah gambar 4 memperlihatkan seluruh bagian inkubator setelah dirakit



Gambar 4. Tampak Inkubator After Assy

Penempatan Komponen Elektronik

Berikut gambar 5 memperlihatkan gambar layout penempatan komponen elektronik di dalam inkubator



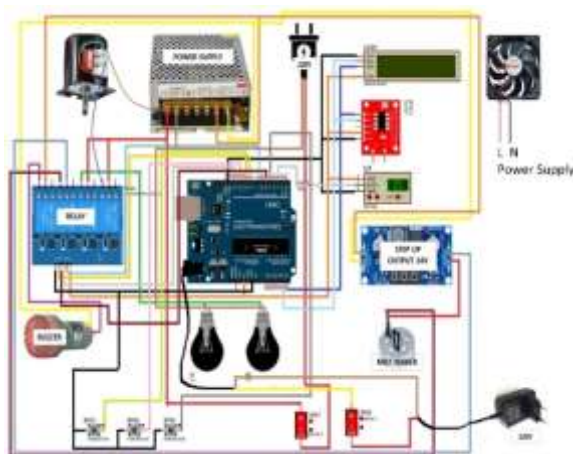
Gambar 5. Rencana Penempatan Komponen

Penempatan komponen elektronik dalam inkubator dirancang untuk mendukung stabilitas suhu dan kelembaban serta kemudahan pemeliharaan. Lampu pemanas ditempatkan ditengah pada bagian atas dinding inkubator dengan jarak sekitar 10 cm dari permukaan rak. Sensor DHT22 diletakkan sejajar dengan permukaan telur untuk memperoleh pembacaan suhu dan kelembaban yang lebih representatif. Mist maker dan wadah air ditempatkan di bawah ruang inkubasi untuk menjaga kelembaban tanpa mengganggu sirkulasi udara. Motor synchronous dipasang ditengah pada bagian luar sisi kiri rak geser untuk menggerakkan sistem geser rak telur melalui poros yang terhubung dengan rak geser.

Skema Rangkaian Wiring Elektronik

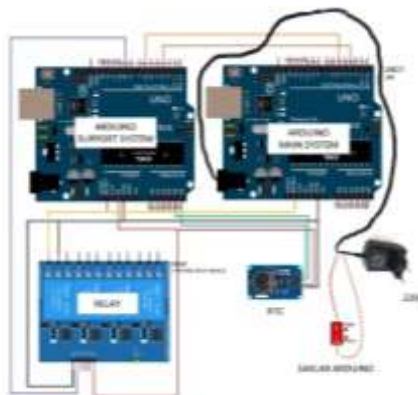
Dibawah ini rangkaian skematik dari keseluruhan alat yang akan digunakan bertujuan untuk meminimalisir kesalahan dalam pemasangan komponen dan dapat mempermudah pengujian sistem.

Berikut gambar 6 memperlihatkan skema wiring antara komponen pada sistem utama



Gambar 6 Skema Rangkaian *Wiring* Sistem Utama

Berikut gambar 7 memperlihatkan skema *wiring* antara komponen pada sistem pendukung



Gambar 7 Skema Rangkaian *Wiring* Sistem Pendukung

Setelah berhasil mengumpulkan bahan dan alat, langkah berikutnya adalah melaksanakan merealisasikan pada desain yang telah dibuat. Pada fase ini, hasil perancangan yang telah disusun akan diaplikasikan menjadi sistem yang sesungguhnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data

Desain sistem inkubator telur otomatis ini dikembangkan untuk mencapai efisiensi termal optimal dan kestabilan suhu serta kelembapan yang konsisten. Evaluasi dilakukan terhadap kebutuhan energi panas baik untuk ruang inkubator maupun telur, serta analisis efisiensi sistem pemanas melalui konveksi, konduksi, dan radiasi.

Volume dan Ruang Efektif untuk Telur

Volume rata-rata telur ayam dihitung menggunakan rumus benda elipsoid:

$$V \approx \frac{4}{3} \pi \cdot 2,75 \cdot (2,15)^2 \approx \frac{4}{3} \cdot 3,1416 \cdot 2,75 \cdot 4,6225 \approx 53,7 \text{ cm}^3 \approx 0,0000537 \text{ m}^3$$

Untuk memastikan sirkulasi udara panas dan kelembapan, setiap telur diberikan ruang tambahan secara horizontal dan vertikal. Luas efektif per telur:

$$A_{\text{total per telur}} = 2 \times (5,3 \times 7,0) = 74,2 \text{ cm}^2$$

Total luas penampang untuk 40 butir telur:

$$A = 40 \cdot 74,2^2 = 2968^2 = 0,297^2 \approx 0,30^2$$

Desain aktual inkubator memiliki dimensi $67 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$, memberikan luas dasar $0,3015 \text{ m}^2$, sesuai dengan kebutuhan tersebut.

Kebutuhan Energi Panas Udara Dalam Inkubator

Volume ruang dalam inkubator : $64.6 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 39.6 \text{ cm} = 102326,4 \text{ cm}^3 = 0,102 \text{ m}^3$ dengan massa udara:

$$m = 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,102 = 0,1224 \text{ kg}$$

Energi panas untuk menaikkan suhu udara dari 30°C ke $37,8^\circ\text{C}$:

$$Q = 0,1224 \cdot 1005 \cdot 7,8 = 959,5 \text{ J} \approx 960 \text{ J}$$

Energi ini setara dengan $0,000266 \text{ kWh}$ dan dapat dicapai dalam waktu $\pm 8,7$ detik dengan output pemanas 110 W .

Kebutuhan Energi Panas Telur

Massa satu butir telur:

$$m = 1030 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0000537^3 = 0,05536 \text{ kg}$$

Energi untuk menaikkan suhu telur pada awal sistem menyala dari 30°C ke $37,8^\circ\text{C}$:

$$Q = 0,05536 \cdot 3400 \cdot 7,8 = 1465,5 \text{ J} = 40 \text{ telur} \times 1465,5 \text{ J} = 58620 \text{ J} = 0,0163 \text{ kWh}$$

Energi harian yang dibutuhkan untuk menjaga kestabilan suhu per telur, Dimana lampu pemanas akan otomatis menjaga suhu inkubator dalam rentang $37,2^\circ\text{C}$ sampai $37,8^\circ\text{C}$ yang berarti selisih (ΔT) sebesar $0,6^\circ\text{C}$ dengan waktu aktual naik turunnya suhu pada inkubator memiliki 188 siklus/hari

$$Q = 0,05536 \cdot 3400 \cdot 0,6 = 112,93 \text{ J} \approx 113 \text{ J}$$

$$Q_{\text{per hari}} = 188 \cdot 113 \approx 21.244 \text{ J} = 21,24 \text{ kJ/hari}$$

Total energi untuk 40 telur :

$$Q_{\text{total}} = 21,24 \text{ kJ/hari} \times 40 \text{ butir} = 849,6 \text{ kJ/hari}$$

jika ditotalkan dengan masa inkubasi selama 21 hari = 17.656 kJ

Evaluasi Energi Pemanas

Lampu pijar 20 W menghasilkan $1,728 \text{ kJ/hari}$ (480 Wh), mencukupi kebutuhan teoretis ($17,656 \text{ kJ}$) dengan margin yang cukup. Namun, kehilangan energi terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi.

a. Konveksi:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T = 30 \cdot 0,0113 \cdot 162,2 \approx 55 \text{ Watt}$$

b. Konduksi (triplek, luas $1,55 \text{ m}^2$, tebal $1,2 \text{ cm}$):

$$Q_{\text{loss}} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T \cdot d}{d} = \frac{0,17 \cdot 1,55 \cdot 7,8}{0,012} \approx 171 \text{ Watt}$$

c. Radiasi :

- Ke lingkungan:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_t^4) = 0,9 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 0,0113 \cdot 4,067 \times 10^{10} \approx 0,236 \text{ Watt}$$

- Ke telur dengan jarak dengan lampu 10 cm :

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{10}{4\pi(0,1)^2} = \frac{10}{0,1257} \approx 79,58 \text{ W/m}^2$$

$$Q = I \cdot A \cdot \varepsilon = 79,58 \cdot 0,0077 \cdot 0,95 \approx 0,582 \text{ Watt}$$

- Ke dinding

Tanpa aluminium foil :

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_t^4) = 0,9 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 0,0113 \cdot 4,067 \times 10^{10} \approx 0,236 \text{ Watt}$$

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_t^4) = 0,03 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \cdot 0,0113 \cdot 4,067 \times 10^{10} \approx 0,236 \text{ Watt}$$

Penggunaan aluminium foil dengan emisivitas rendah (~0,03) terbukti efektif menurunkan radiasi ke dinding hingga 67%, dan mempertahankan lebih banyak energi di dalam ruang inkubasi.

Efisiensi Termal dan Isolasi

Waktu penurunan dari 37,8 °C ke 37,2 °C adalah 6 menit 45 detik, sementara pemanasan kembali hanya membutuhkan ±55 detik. Hal ini menunjukkan kinerja sistem isolasi dan kontrol suhu yang sangat baik, mendukung kestabilan suhu untuk keberhasilan penetasan.

Perhitungan Massa Udara dan Kelembaban Inkubator

Untuk menjaga kestabilan kelembaban relatif selama masa inkubasi, dilakukan analisis kebutuhan uap air berdasarkan massa udara di dalam ruang inkubator (volume 0,102 m³) pada suhu 37,8 °C dan 36,5 °C. Dengan menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T}$$

diperoleh massa jenis udara masing-masing sebesar 1,136 kg/m³ dan 1,141 kg/m³. Maka, massa udara dalam inkubator adalah 0,1159 kg dan 0,1164 kg. Tekanan uap jenuh dihitung menggunakan interpolasi linier berdasarkan data termodinamika:

$$P_{\text{sat}}(T) = P_1 + \left(\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} \right) \cdot (P_2 - P_1)$$

Sehingga diperoleh:

- Pada 37,8 °C: $P_{\text{sat}} = 6,6125 \text{ kPa}$
- Pada 36,5 °C: $P_{\text{sat}} = 6,1559 \text{ kPa}$

Dengan target peningkatan kelembaban dari 50% ke 55% pada suhu 37,8 °C, diperoleh kebutuhan tambahan uap air:

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = 0,02315 - 0,02098 = 0,00217 \text{ uap/kg udara}$$

$$m_{\text{air}} = \Delta\omega \cdot m_{\text{udara}} = 0,00217 \times 0,1159 = 0,000251 \text{ kg} = 0,251 \text{ gram}$$

Sedangkan untuk kenaikan kelembaban dari 55% ke 75% pada suhu 36,5 °C:

$$\Delta\omega = 0,0297 - 0,02315 = 0,00655$$

$$M_{\text{air}} = 0,00655 \times 0,1164 = 0,000954 \text{ kg} = 0,954 \text{ gram}$$

Analisis Kinerja Motor dan Reduksi Kecepatan

Pengujian motor synchronous 60KTYZ menghasilkan kecepatan aktual 2,4 RPM (dari waktu 25 detik/putaran), sedikit menurun dari kecepatan teoritis 2,5 RPM. Penurunan 4% ini masih dalam toleransi operasional, menandakan efisiensi motor mencapai ~96%.

Rasio reduksi gearbox dihitung berdasarkan:

$$\text{Rasio Reduksi} = \frac{N_{\text{Motor}}}{N_{\text{Output}}} = \frac{1500 \text{ RPM}}{2,5 \text{ RPM}} = 600:1$$

Nilai ini menunjukkan penggunaan mekanisme gear bertingkat untuk mencapai torsi tinggi dan kecepatan rendah yang diperlukan dalam sistem pembalik telur otomatis.

Perhitungan Torsi dan Gaya Gesek

Estimasi total massa beban rak dan telur sebesar 2,1 kg menghasilkan gaya berat: $W = m \cdot g = 2,1 \times 9,8 = 20,6 \text{ N}$

Distribusi beban ke dua rel (dengan $\mu = 0,005$) menghasilkan total gaya gesek:

$$N_{Per\ rel} = 2 \cdot \mu \cdot \frac{w}{2} = 0,103\ N$$

Dengan panjang tuas 5 cm, torsi penggerak:

$$\tau = 0,103 \times 0,05 = 0,00515\ Nm$$

Dibandingkan dengan torsi motor (maksimum 1,96 Nm), maka persentase beban:

$$\frac{0,00515}{1,96} \times 100\% = 0,26\ \%$$

Artinya, Motor hanya bekerja sebesar 0,26% dari kapasitas torsi maksimumnya (0,00515 Nm dari 1,96 Nm). Hal ini menunjukkan bahwa sistem mekanik yang dirancang sangat efisien dan memiliki margin keamanan yang tinggi. Bahkan jika beban aktual dikalikan 10 kali lipat—misalnya karena peningkatan gesekan atau beban dinamis—torsi yang diperlukan hanya mencapai 0,0657 Nm, atau sekitar 3,35% dari kapasitas motor. Nilai ini masih jauh di bawah batas kemampuan motor, menandakan bahwa motor dapat bekerja dengan stabil dan andal dalam jangka panjang.

Estimasi Daya Komponen Elektronik

Perhitungan daya listrik dilakukan untuk mengetahui total energi yang dibutuhkan oleh seluruh komponen dalam sistem inkubator otomatis selama proses operasional. Daya masing-masing komponen dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V \times I$$

P = daya dalam watt (W),

V = tegangan dalam volt (V), dan

I = arus listrik dalam ampere (A)

Setiap komponen seperti lampu pijar, mist maker, motor penggerak, kipas pendingin, sensor, dan mikrokontroler memiliki konsumsi daya berbeda. Contoh perhitungan daya untuk motor penggerak:

$$P = 220\ volt \times 0,064\ Ampere = 14\ Watt$$

Hasil rekapitulasi perhitungan konsumsi daya ditunjukkan pada Tabel 1.3.

Tabel 3.1 Perhitungan Daya dan Beban Total Sistem Inkubator Otomatis

Komponen	Jumlah	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (Watt) $P = V \times I$	Sumber Listrik
Power Supply 12V	1	12	20	240	Sumber Daya Maksimal 240W & 20A
Motor 60KTYZ	1	220	0.064	14	Listrik PLN
Adaptor 9V	1	9	2	18	Listrik PLN Sumber Daya Arduino
Lampu 10W (x2)	2	220	0.045	20	Listrik PLN
Arduino Uno	2	5	0.1	1	Adaptor 9V
Relay	2	5	0.08	0.8	DC 5V Arduino
Push Button	3	5	0.0001	0.0015	DC 5V Arduino
RTC Module	2	5	0.0005	0.005	DC 5V Arduino
LCD I2C	1	5	0.02	0.1	DC 5V Arduino
DHT22	1	5	0.0025	0.0125	DC 5V Arduino
Mist Maker 24V	1	24	0.6	14.4	Power Supply 12V Via Stepup 24V
Step-Up 24V	1	24	1	24	Power Supply 12V
Step-Down 5V	1	5	1	5	Power Supply 12V
Buzzer 12V	1	12	0.05	0.6	Power Supply 12V
Kipas	2	12	0.33	4	Power Supply 12V
Total Sumber Listrik AC PLN				= 52 Watt	

Total Beban Pada Sumber Listrik DC Power Supply 12 V	= 48 Watt
Total Sumber Listrik DC Pada 5V Arduino	= 1.92 Watt
Total Beban Arus Terhadap Power Supply	= 4.7 Ampere

Analisis Sumber Daya dan Distribusi Beban

Sistem menggunakan tiga jalur tegangan:

- Tegangan tinggi 220V dari PLN: digunakan langsung oleh motor penggerak (14W) dan dua lampu pijar (20W).
- Jalur 9V: disuplai oleh adaptor untuk Arduino dan konversi ke 5V regulator (18W).
- Jalur 12V DC: disuplai oleh power supply 12V/20A dengan kapasitas 240W.

Beban pada jalur 12V mencapai 48W, atau sekitar 20% dari kapasitas maksimum, menunjukkan bahwa sistem bekerja dalam batas aman. Arus total yang ditarik dari power supply adalah 4,7 A, sistem hanya menggunakan sekitar 22% dari kapasitas sehingga tidak terjadi drop tegangan.

Konsumsi Energi Harian dan Biaya Operasional

Total konsumsi energi dalam 24 jam dengan menggunakan rumus $E = P \times t$.

Dimana :

E : Energi (Wh)

P : Daya (Watt)

T : Waktu

Dihitung disetiap kerja komponen per hari menghasilkan total $E_{\text{harian}} = 168,554 \text{ Wh} = 0,168554 \text{ kWh}$ Dengan tarif listrik rumah tangga PLN Rp 1.444,70/kWh, estimasi biaya operasional harian adalah:

- Biaya per hari = $0,168554 \times \text{Rp } 1.444,70 \approx \text{Rp } 243,50$

Untuk masa inkubasi 21 hari:

- Total penggunaan = $\text{Rp } 243,50 \times 21 \text{ hari (rata rata masa inkubasi)} = \text{Rp } 5.114$

Evaluasi Efisiensi Energi

Dengan konsumsi energi harian hanya 0,168 kWh, sistem inkubator ini termasuk dalam kategori efisien untuk perangkat berbasis pemanas kecil. Efisiensi ini didukung oleh:

- Penggunaan lampu pijar dengan siklus hidup-mati terkontrol.
- Durasi mist maker yang sangat terbatas.
- Isolasi termal yang meminimalkan kehilangan panas.
- Distribusi daya yang seimbang antar jalur tegangan.

Desain sistem kelistrikan ini berhasil mengoptimalkan efisiensi daya, menghindari overloading, dan menjamin stabilitas operasional, bahkan dalam kondisi kerja terus-menerus selama masa inkubasi.

Realisasi Fisik Desain Inkubator dan Implementasi Komponen

Berikut gambar 7 memperlihatkan hasil realisasi desain dan implementasi komponen



Gambar 8 Hasil Realisasi Desain Inkubator dan Implementasi Komponen

Desain inkubator yang sebelumnya dirancang dengan SolidWorks direalisasikan ke bentuk fisik dengan mempertimbangkan dimensi, kekuatan struktur, efisiensi termal, dan kemudahan pemasangan sistem elektronik. Inkubator ini dirancang untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembaban yang krusial dalam proses penetasan telur ayam.

Struktur fisik berbentuk kotak persegi panjang menggunakan triplek 12 mm sebagai material utama karena kuat dan mudah diproses. Untuk efisiensi termal, permukaan dalam dilapisi aluminium foil yang memantulkan radiasi panas ke ruang inkubasi serta mengurangi kehilangan panas. Sistem ventilasi disediakan di bagian atas dan sisi kanan-kiri untuk menjaga sirkulasi dan mencegah kelembaban berlebih.

Rak telur berkapasitas 40 butir digerakkan motor synchronous dan diputar otomatis setiap 6 jam untuk pemerataan suhu dan kelembaban. Seluruh komponen seperti sensor DHT22, pemanas (lampu), Arduino Uno, RTC, LCD I2C, dan relay ditempatkan sesuai layout pada model SolidWorks, meminimalkan kesalahan instalasi.

Sistem kontrol dikembangkan berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang terhubung ke sensor dan aktuator serta dilengkapi antarmuka LCD I2C. Proses instalasi mengikuti wiring diagram dan layout desain untuk memastikan integrasi mekanis-elektronik yang stabil dan andal. Realisasi ini menghasilkan inkubator otomatis yang fungsional dan sesuai spesifikasi teknis penetasan telur.

Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa aktual inkubator telur otomatis yang telah direalisasikan, baik dari sisi fungsi fisik maupun kinerja sistem kontrol elektronik berbasis mikrokontroler. Fokus pengujian meliputi validasi pembacaan sensor, respons kontrol terhadap pemanas dan humidifier (*mist maker*), tampilan antarmuka pengguna, serta integrasi sistem dua mikrokontroler (sistem utama dan sistem pendukung).

Pengujian juga mencakup pengamatan kestabilan suhu dan kelembaban dalam ruang inkubasi serta kemampuan sistem dalam merespons kondisi gangguan, seperti sensor tidak merespons atau kegagalan komunikasi antar modul.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sistem Utama

Komponen	Fungsi	Hasil Pengujian
Sensor DHT22	Mengukur suhu dan kelembaban	Stabil sesuai target: • Mode 1–18H: 37,2–37,8 °C & 53–57% • Mode 19–21H: 36,5–37,0 °C & 65–75%
Pemanas (lampu)	Aktif saat suhu di bawah batas	Berhasil menjaga suhu di setiap mode: • Mode 1–18H: aktif < 37,2 °C • Mode 19–21H: aktif < 36,5 °C
Mist Maker	Aktif saat kelembaban di bawah batas	Berhasil menjaga kelembaban di setiap mode: • Mode 1–18H: aktif < 53% • Mode 19–21H: aktif < 65%
LCD I2C	Menampilkan status inkubasi	Berhasil Menampilkan: • Hari inkubasi • Suhu & kelembaban • Status inkubasi • Status sistem • Waktu RTC
Motor Synchronous	Motor menyala 10 detik saat sistem dinyalakan dan menyala kembali setiap 6 jam selama 10 detik	Berhasil
Push Button	Input manual	Berfungsi dengan baik: • PB1: Ganti tampilan LCD • PB2: Ganti mode inkubasi • PB3: Matikan buzzer
Mode 19–21 hari	Motor tidak aktif walau jadwal tercapai	Berhasil
Respons sistem	Kecepatan tanggapan	Respons berhasil cepat tanggap • Input < 1 detik • Update tampilan < 100 ms

Berikut tabel menampilkan hasil pengujian pada sistem pendukung pada inkubator

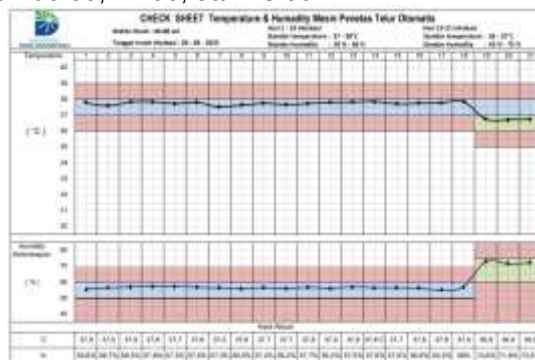
Tabel 4 Hasil Pengujian Sistem Pendukung

No	Skenario Pengujian	Kondisi Uji	Hasil	Status
1	Heartbeat terputus >15 detik (mengantisipasi kegagalan tampilan LCD Freeze dan Mikrokontroler utama error)	Arduino utama tidak mengirim heartbeat selama >15 detik	Sistem utama di-reset dalam 320 ms	Berhasil
2	Sensor DHT22 error (nilai tetap 25.5°C)	Simulasi error sensor dengan menahan nilai DHT22 konstan	Sistem utama di-reset otomatis	Berhasil

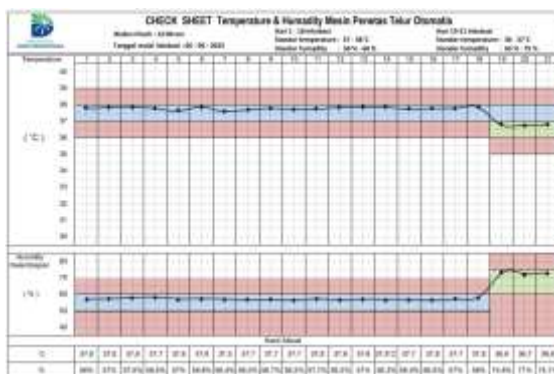
Evaluasi Stabilitas Suhu dan Kelembaban

Selama hari ke-1 hingga ke-18, suhu dijaga stabil pada rentang 37,2–37,8 °C dan kelembaban 55–60%. Pada hari ke-19 hingga menetas, kelembaban berhasil dinaikkan menjadi 65–75% untuk mendukung pelepasan embrio. Sensor DHT22 yang dipasang sejajar tinggi telur menyediakan pembacaan real-time ke LCD I2C 16x2, memastikan pemantauan suhu dan kelembaban optimal sepanjang waktu.

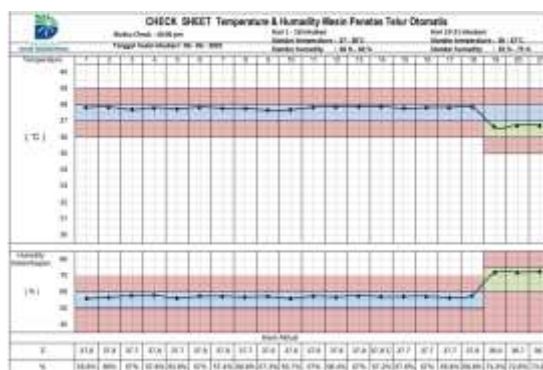
Berikut gambar 9 hingga gambar 11 menampilkan hasil data aktual checksheet harian yang diambil pada jam 06:00, 12:00, dan 18:00.



Gambar 9 Cheeksheet Harian Jam 06:00



Gambar 10 Cheeksheet Harian Jam 12:00



Gambar 11. Cheeksheet Harian Jam 18:00

Hasil *cheeksheet* harian embentuk grafik disetiap data jam 06:00, 12:00, dan 18:00, menyimpulkan bahwa seluruh rentang suhu berada dalam batas toleransi, dengan fluktuasi $\pm 0,2$ °C yang tergolong normal dan aman. Ini mendukung hipotesis bahwa sistem inkubator dapat mempertahankan suhu inkubasi dalam rentang optimal. Untuk kelembaban, hasil menunjukkan perbedaan signifikan antara dua fase inkubasi hari ke-1 hingga hari ke-18 dan hari ke-19 hingga hari ke-21 Semua nilai berada dalam kisaran optimal.

Evaluasi Sistem Pembalik Telur

Mekanisme pembalik menggunakan motor synchronous 60KTYZ 2,5 RPM yang dikendalikan relay dan beroperasi otomatis setiap 6 jam selama 10 detik. Sistem bekerja stabil selama 21 hari tanpa kegagalan. Mekanisme ini penting untuk mencegah embrio menempel pada cangkang dan mengurangi intervensi manual.

Efisiensi Energi dan Keandalan

Sistem dirancang dengan konsumsi daya rendah dan mampu beroperasi non-stop selama 21 hari. Kendala seperti freeze pada LCD dan sensor DHT22 sempat terjadi pada uji coba awal, namun telah diatasi melalui penambahan sistem pendukung (Arduino cadangan) yang dapat melakukan reset otomatis pada sistem utama saat terdeteksi kegagalan fungsi.

Keberhasilan Penetasan

Dari 21 telur elba yang diuji, 19 telur fertil berembrio berhasil menetas (90% dari total, 100% dari telur berembrio). Hasil ini jauh lebih tinggi dibandingkan inkubator konvensional yang rata-rata hanya mencapai 40–70%. Perbandingan ringkas disajikan pada Tabel.

Tabel 4 Perbandingan Inkubator Otomatis dan Konvensional

Aspek	Konvensional	Otomatis Arduino
Kontrol suhu	Manual, fluktuatif	Otomatis, stabil
Kontrol kelembaban	Manual (tambahkan air)	Otomatis (mist maker)
Pembalik telur	Manual	Otomatis tiap 6 jam
Indikator kesalahan	Tidak ada	Ada (alarm, LCD)
Pemantauan	Manual	Real-time via LCD
Efisiensi kerja	Rendah	Tinggi
Tingkat menetas	40–70%	90% (19/21)



Gambar 12 Telur Menetas

Kendala Saat Uji Keandalan Sistem dan Solusi

1. Freeze pada LCD & Sensor DHT22

Masalah : Tampilan tidak berubah, sensor tidak membaca data aktual →
mengakibatkan suhu/kelembaban tidak terkendali.

Solusi :

- Penambahan auto-reset melalui Arduino tambahan
- Penataan ulang kabel sensor (lebih pendek)
- Blok kode tambahan: `lcd.begin()`, `lcd.clear()`

2. Rak Geser Macet

Masalah : Permukaan alas tidak presisi, beban tidak merata

Solusi :

- Alas diganti triplek 8 mm berlubang yang sebelumnya ram kawat
- Tambahkan rel + bola bearing
- Pengamplasan ulang permukaan rak

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Inkubator telur otomatis berbasis Arduino Uno berhasil dirancang dan diuji dengan performa sistem yang stabil dan efisien selama 21 hari inkubasi. Sistem mampu mempertahankan suhu 37,2–37,8 °C dan kelembaban sesuai fase inkubasi dengan simpangan baku sangat rendah. Dinding berlapis aluminium foil terbukti mengurangi kehilangan panas secara signifikan, meningkatkan efisiensi termal hingga 30%. Sistem otomatisasi pemantauan, pembalikan telur, dan pengaturan suhu serta kelembaban berjalan andal tanpa perlu intervensi manual. Meskipun sempat terjadi gangguan pada tampilan LCD dan pembacaan sensor DHT22, sistem pendukung berhasil mengantisipasi dan mereset modul utama secara otomatis. Uji coba menunjukkan tingkat penetasan mencapai 90%, dengan efisiensi energi tinggi (0,168 kWh/hari) dan konsumsi daya yang ekonomis. Rancang bangun mekanis seperti rak geser berbantalan bola juga mendukung kinerja sistem secara keseluruhan. Fitur antarmuka yang ramah pengguna menjadikan alat ini praktis digunakan di skala kecil hingga menengah maupun sebagai media edukatif. Dengan penyempurnaan minor, alat ini layak untuk diterapkan secara luas dalam bidang peternakan unggas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini merupakan hasil rancang bangun yang dilaksanakan secara mandiri oleh penulis, mulai dari perancangan hingga pengujian sistem.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ir. Komarudin, M.T., selaku dosen pembimbing dari Program Studi Teknik Mesin, Universitas Dian Nusantara, yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penyusunan artikel ini, khususnya dalam hal penulisan ilmiah dan sistematika penyajian hasil penelitian.

Penulis juga menghargai dukungan moral dan akademik dari lingkungan Program Studi Teknik Mesin Universitas Dian Nusantara. Terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang turut membantu secara tidak langsung dalam proses penyusunan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- F. Djuandi, Pengenalan Arduino, 2011. [Online]. Available: https://www.academia.edu/32242981/PENGENALAN_ARDUINO_Oleh_Feri_Djuandi
- R. Hartono, M. Fathuddin, dan A. Izzudin, "Perancangan dan pembuatan inkubator telur otomatis berbasis Arduino," Jurnal Energi, Univ. Panca Marga, 2017. [Online]. Available: <https://ejournal.upm.ac.id/index.php/energy/article/view/141>
- Y. Mariani, N. M. A. Kartika, dan M. A. Hamzani, "Pengaruh suhu penetasan terhadap fertilitas, mortalitas, dan daya tetas telur ayam kampung," Jurnal AgripteK, 2021. [Online]. Available: <https://ejournal.unwmataram.ac.id/index.php/agripteK/article/view/611/330>
- M. A. Hikmalloh, I. W. A. Arimbawa, dan A. Zafrullah, Rancang bangun inkubator penetas telur ayam berbasis IoT, Universitas Mataram, 2022. [Online]. Available: https://eprints.unram.ac.id/41136/2/Jurnal%20Tugas%20Akhir_Muhammad%20Amar%20Hikmalloh_F1D018084.pdf

- I. S. H. Kocher dan G. Y. Izadeen, "Smart egg incubator based on microcontroller: A review," *Academic Journal of Nawroz University*, vol. 11, no. 4, pp. 299–307, 2022. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/365107606>
- M. J. A. Soeb, M. R. Al Mamun, dan S. Shammi, "Design and fabrication of low-cost incubator to evaluate hatching performance of egg," *Eur. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 21–26, 2021. [Online]. Available: <https://mail.ej-eng.org/index.php/ejeng/article/download/2662/1179>
- L. Niranjan, C. Venkatesan, dan A. R. Suhas, "Design and implementation of chicken egg incubator for hatching using IoT," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 3, pp. 180–187, 2021. doi: 10.1504/IJCSE.2021.117018
- G. Pandey dan B. Pokhrel, "IoT based PID control egg incubator," *Int. J. Educ. Pract. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2025. [Online]. Available: <https://honexus.org/index.php/ijepe/article/download/14313/10995>
- S. L. de Castro Júnior et al., "Multilevel sensor for monitoring external and internal environment of eggs," *Poultry Science*, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257912400381X>
- S. Hundam et al., "Effects of embryonic thermal manipulation on body performance and cecum microbiome in broiler chickens following a post-hatch lipopolysaccharide challenge," *Animals*, vol. 15, no. 8, p. 1149, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-2615/15/8/1149>
- P. Siagian, H. Alam, dan R. A. Frasasti, "Efektivitas konsentrator cahaya aluminium foil terhadap kenaikan intensitas cahaya dan temperatur permukaan solar cell," *Jurnal SENASHTEK*, 2024. [Online]. Available: <https://journals.stimsukmamedan.ac.id/index.php/senashtek2/article/view/629/429>
- L. Zebua, *Pengaruh variasi suhu penetasan terhadap fertilitas, daya hidup embrio dan daya tetas telur ayam mirah*, Skripsi, Univ. HKBP Nommensen, Medan, 2023. [Online]. Available: <https://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/9635/LUSIANA%20ZEBUA.pdf>
- Engineering Toolbox, "Emissivity coefficients of common materials," 2024. [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html
- T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera, dan D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed., John Wiley & Sons, 2011, pp. 876–878.