

Pengembangan Purwarupa Inkubator Otomatis dengan Sistem Pembalik Telur Berbasis Mikrokontroler

Ariyanthi Rismawati Putri¹⁾, Eka Arriyanti²⁾, Andi Yusika Rangan³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Informatika, STMIK Widya Cipta Dharma

Email: Andi@wicida.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kurangnya efisiensi proses penetasan telur pada peternak yang masih menggunakan metode manual, sehingga memerlukan solusi otomatis untuk meningkatkan produksi, menghemat waktu, dan menjaga higienitas telur. Pentingnya penelitian ini adalah untuk merancang sebuah inkubator yang mampu bekerja secara otomatis penuh. Metode penelitian yang digunakan adalah model prototipe yang mencakup beberapa tahap: identifikasi kebutuhan, perancangan perangkat keras dan lunak, implementasi, serta pengujian sistem menggunakan metode white box dan black box. Hasil akhir dari penelitian ini adalah sebuah purwarupa inkubator fungsional yang berhasil dibuat. Sistem ini mampu menjaga suhu dan kelembaban secara otomatis menggunakan sensor DHT11 dan menggerakkan rak pembalik telur secara periodik setiap tiga jam menggunakan motor stepper, di mana seluruh status sistem dapat dipantau melalui layar LCD

Kata kunci : Inkubator Otomatis, Mikrokontroler, Sensor DHT11, Motor Stepper, Penetasan Telur

Abstract

This research is motivated by the lack of efficiency of the egg hatching process in farmers who still use manual methods, so it requires automatic solutions to increase production, save time, and maintain egg hygiene. The importance of this research is to design an incubator that is capable of working fully automatically. The research method used is a prototype model that includes several stages: identification of needs, design of hardware and software, implementation, and testing of the system using the white box and black box methods. The final result of this study is a prototype of a functional incubator that was successfully made. The system is able to automatically maintain temperature and humidity using the DHT11 sensor and drive the egg flipping rack periodically every three hours using a stepper motor, where the entire system status can be monitored via the LCD screen.

Keywords: Automatic Incubator, Microcontroller, DHT11 Sensor, Stepper Motor, Egg Hatchin

PENDAHULUAN

Sektor peternakan unggas memegang peranan vital dalam pemenuhan kebutuhan protein hewani di Indonesia. Namun, produktivitas peternak sering kali terhambat oleh proses penetasan telur yang masih mengandalkan metode konvensional atau semi-manual. Ketergantungan pada metode ini menimbulkan berbagai isu, seperti inefisiensi waktu, risiko kontaminasi, dan distribusi panas yang tidak merata pada telur, yang pada akhirnya menurunkan tingkat keberhasilan penetasan. Sebuah studi oleh (Lubis et al., 2021) menunjukkan bahwa persentase keberhasilan penetasan telur dapat meningkat secara signifikan dari 70-80% pada sistem manual menjadi hingga 95% dengan penggunaan inkubator otomatis. Hal ini menegaskan adanya urgensi untuk beralih ke sistem yang lebih modern dan efisien.

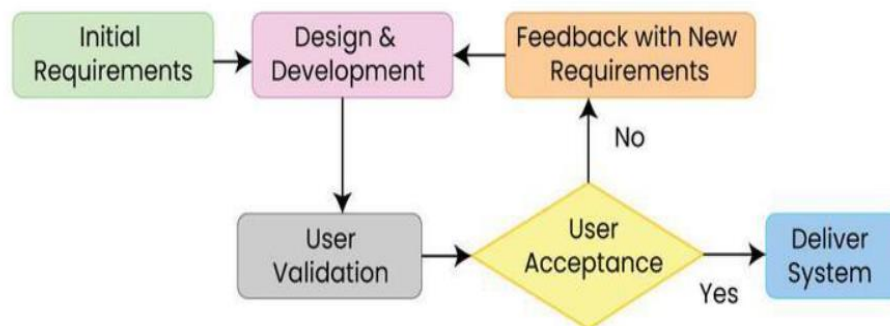
Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai penelitian telah berfokus pada inovasi inkubator otomatis. Garis depan pengetahuan saat ini mengarah pada integrasi sistem dengan Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan (AI) untuk pemantauan dan kontrol yang

lebih presisi. Penelitian (Wahyuni et al., 2024) mengembangkan inkubator cerdas berbasis IoT dan AI yang mampu melakukan penyesuaian kondisi secara dinamis, sementara (Prabowo et al., 2024) menerapkan sistem kontrol PID dan aplikasi web untuk pemantauan jarak jauh. Selain itu, penelitian (Nasiyah, 2024) juga menunjukkan keberhasilan implementasi inkubator berbasis IoT yang memanfaatkan NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT11 untuk memonitor suhu dan kelembaban secara real-time.

Meskipun teknologi canggih seperti IoT dan AI menawarkan kapabilitas yang luas, masih terdapat kebutuhan untuk menyediakan solusi inkubator otomatis yang fundamental, andal, dan terjangkau, terutama bagi peternak skala kecil dan menengah. Penelitian oleh (Farahiyah, 2020) menjadi salah satu landasan dalam pemanfaatan IoT untuk inkubator. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sebuah purwarupa inkubator fungsional yang berfokus pada keandalan komponen inti, yaitu dengan mengintegrasikan mikrokontroler Arduino Uno, sensor suhu dan kelembaban DHT11, serta motor stepper untuk rak pembalik otomatis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem yang efektif dan efisien untuk membantu peternak meningkatkan produktivitas penetasan tanpa memerlukan infrastruktur teknologi yang kompleks.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa produk dengan mengadopsi, Model Prototipe (*Prototyping Model*), yang merupakan bagian dari metode pengembangan *Incremental Development*. Model ini dipilih karena memungkinkan pengembangan yang bersifat iteratif, di mana purwarupa fungsional dapat segera dibuat dan diuji untuk mendapatkan umpan balik yang cepat guna penyempurnaan lebih lanjut. Menurut Prasetyo, dkk. model prototipe sangat efektif dalam proyek pengembangan perangkat keras dan lunak karena dapat membantu mengklarifikasi kebutuhan pengguna dan mengidentifikasi potensi masalah teknis sejak dini. Kerangka penelitian ini mengikuti alur kerja Model Prototipe yang disajikan pada Gambar 1, yang mencakup beberapa tahapan utama sebagai berikut:



Gambar 1. Model Prototipe

1. Pengumpulan Kebutuhan Awal (Initial Requirements)

Tahap ini merupakan fondasi dari seluruh proses perancangan. Kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem diidentifikasi melalui studi pustaka dan observasi tidak langsung. Tujuannya adalah untuk mendefinisikan spesifikasi utama purwarupa,

2. Desain dan Pengembangan (Design & Development)

Pada tahap ini, kebutuhan yang telah dianalisis diterjemahkan ke dalam rancangan teknis yang detail. Proses ini dibagi menjadi dua kegiatan utama yaitu perancangan perangkat keras (*Hardware*) dan perancangan dan Implementasi Perangkat Lunak (*Software*):

3. Validasi dan Pengujian Purwarupa (User Validation), Setelah purwarupa berhasil dibangun, tahap selanjutnya adalah melakukan serangkaian pengujian untuk memvalidasi

fungsionalitasnya. Tahap ini bertujuan untuk memastikan purwarupa dapat berjalan sesuai dengan tujuan perancangan. Dua metode pengujian digunakan yaitu

- a. Pengujian Kotak Putih (*White Box Testing*): Pengujian ini berfokus pada pemeriksaan struktur internal dan alur logika kode program untuk memastikan tidak ada kesalahan.
 - b. Pengujian Kotak Hitam (*Black Box Testing*): Pengujian ini mengevaluasi fungsionalitas sistem dari sudut pandang pengguna tanpa melihat kode internalnya. Tujuannya adalah untuk memvalidasi apakah sistem telah memenuhi persyaratan fungsional
4. Umpan Balik dan Iterasi (*Feedback*), Jika dalam tahap validasi ditemukan ketidaksesuaian atau potensi perbaikan (alur "No" pada Gambar 1), maka dilakukan proses iterasi. Umpan balik dari hasil pengujian digunakan untuk menyempurnakan kembali desain dan pengembangan purwarupa hingga semua fungsi berjalan sesuai harapan.
 5. Penyerahan Sistem (*Deliver System*), Setelah purwarupa berhasil melewati semua tahap pengujian dan validasi (alur "Yes" pada Gambar 1) serta dinyatakan berfungsi sesuai dengan kebutuhan awal, maka sistem inkubator otomatis ini dianggap selesai dan siap untuk didokumentasikan sebagai hasil akhir penelitian.

Berikut Adalah istilah-istilah yang ada di dalam penelitian ini :

1. Inkubator Penetas Telur

Inkubator penetas telur adalah sebuah perangkat rekayasa yang dirancang untuk menciptakan dan memelihara lingkungan buatan yang menyerupai kondisi pengeraman alami oleh induk unggas. Fungsi utamanya adalah mengontrol parameter-parameter lingkungan kritis yang memengaruhi perkembangan embrio, seperti suhu, kelembaban, dan ventilasi udara. Kumar, dkk. (Adame & Ameha, 2023) mendefinisikan inkubator sebagai aparatus yang menjaga kondisi lingkungan tetap stabil dan optimal selama periode inkubasi, yang merupakan faktor penentu keberhasilan penetasan telur di luar pengeraman alami. Penggunaan inkubator memungkinkan proses penetasan dalam skala yang lebih besar dan dengan tingkat keberhasilan yang lebih terkontrol.”.

2. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sirkuit terpadu (IC) atau chip tunggal yang berisi unit pemrosesan pusat (CPU), memori (RAM dan ROM), serta pin input/output (I/O) yang dapat diprogram. Berbeda dari mikroprosesor pada komputer personal, mikrokontroler dirancang khusus untuk aplikasi kendali dalam sistem tertanam (*embedded system*). Menurut Al-Turjman (2020), mikrokontroler berfungsi sebagai "otak" dari perangkat cerdas, yang bertugas membaca data dari sensor (input), memproses data tersebut sesuai dengan instruksi program yang tersimpan di memorinya, dan mengendalikan aktuator (output) untuk melakukan tugas tertentu.

3. Arduino Uno

Arduino Uno adalah salah satu papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler paling populer yang berbasis open-source. Papan ini menggunakan mikrokontroler ATmega328P dan dirancang untuk memudahkan pengguna dalam membuat prototipe proyek elektronika. Menurut Sari, dkk. (2023), popularitas Arduino Uno didorong oleh

kemudahan penggunaannya, ketersediaan Integrated Development Environment (IDE) yang sederhana, dan dukungan komunitas yang sangat besar, yang menyediakan banyak sekali contoh kode dan pustaka (library). Faktor-faktor ini menjadikannya pilihan ideal untuk para pemula, penghobi, maupun peneliti dalam mengembangkan berbagai sistem otomatis, termasuk inkubator. berfungsi sebagai "otak" dari perangkat cerdas, yang bertugas membaca data dari sensor (input), memproses data tersebut sesuai dengan instruksi program yang tersimpan di memorinya, dan mengendalikan aktuator (output) untuk melakukan tugas tertentu.

4. Pemrograman Mikrokontroler

Pemrograman mikrokontroler adalah proses penulisan serangkaian instruksi atau kode untuk mendefinisikan dan mengendalikan perilaku sebuah mikrokontroler. Proses ini biasanya dilakukan dengan bahasa pemrograman seperti C atau C++, yang kemudian dikompilasi dan diunggah ke memori mikrokontroler. Firmansyah & Putra (2022) menjelaskan bahwa melalui pemrograman, seorang pengembang dapat mengatur logika kerja sistem secara spesifik, seperti kapan harus membaca data dari sensor, bagaimana data tersebut diolah, dan tindakan apa yang harus diambil oleh aktuator sebagai respons. Untuk platform Arduino, proses ini sangat difasilitasi oleh Arduino IDE yang menyediakan editor kode dan compiler dalam satu paket perangkat lunak

5. Sensor DHT11

Sensor DHT11 adalah sensor digital berbiaya rendah yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Sensor ini mampu mengeluarkan sinyal digital yang telah terkalibrasi, sehingga pengguna tidak perlu melakukan perhitungan kompleks untuk mendapatkan nilai suhu dalam Celcius dan kelembaban dalam persentase. Dalam penelitian tentang sistem pemantauan lingkungan, Singh & Kumar (2023) menyoroti keunggulan DHT11 dalam hal kemudahan integrasi dengan platform mikrokontroler seperti Arduino, menjadikannya komponen yang sangat umum digunakan dalam proyek-proyek yang memerlukan pemantauan kondisi lingkungan secara dasar

6. Motor Stepper

Motor stepper adalah jenis motor DC tanpa sikat (brushless) yang bergerak dalam langkah-langkah diskrit (bertahap) dengan presisi tinggi. Berbeda dengan motor DC konvensional yang berputar terus-menerus, motor stepper dapat diperintahkan untuk berputar pada sudut tertentu atau jumlah langkah yang tepat. Li & Chen (2022) menyatakan bahwa kemampuan untuk mengontrol posisi secara akurat tanpa memerlukan sistem umpan balik (feedback) membuat motor stepper sangat ideal untuk aplikasi yang menuntut presisi, seperti pada printer 3D, mesin CNC, dan sistem aktuator otomatis seperti rak pembalik telur pada incubator

7. Rak Otomatis

Rak otomatis dalam konteks inkubator adalah sebuah mekanisme yang berfungsi untuk membalik atau mengubah posisi telur secara berkala tanpa intervensi manusia. Proses pembalikan telur ini sangat krusial untuk mencegah embrio menempel pada selaput cangkang dan untuk memastikan distribusi panas yang merata ke seluruh permukaan telur. Wicaksono, dkk. (2021) menjelaskan sistem pembalik telur otomatis sebagai mekanisme yang digerakkan oleh aktuator, seperti motor stepper atau motor servo, yang dikendalikan oleh unit pemroses (mikrokontroler) berdasarkan interval waktu yang telah diprogram.

Otomatisasi proses ini secara signifikan berkontribusi pada peningkatan angka keberhasilan penetasan

8. Relay 5V

Relay adalah saklar elektromekanis yang memungkinkan sebuah sirkuit berarus kecil untuk mengontrol sirkuit lain yang berarus atau bertegangan jauh lebih tinggi. Modul Relay 5V dirancang khusus untuk dapat diaktifkan oleh sinyal logika 5V dari pin mikrokontroler. Ahmed, dkk. (2022) dalam studi otomasi rumah, menjelaskan bahwa fungsi utama relay adalah untuk menciptakan isolasi galvanik, yaitu memisahkan sirkuit kontrol berdaya rendah (mikrokontroler) dari sirkuit beban berdaya tinggi (misalnya, lampu AC 220V atau pemanas), sehingga melindungi komponen kontrol dari kerusakan akibat lonjakan tegangan.

9. Lampu Pijar

Lampu pijar (incandescent lamp) adalah sumber cahaya buatan yang menghasilkan cahaya dengan cara memanaskan filamen di dalamnya hingga berpijar. Meskipun untuk pencahayaan umum teknologi ini dianggap kurang efisien karena sebagian besar energinya terbuang sebagai panas, karakteristik ini justru dimanfaatkan dalam aplikasi lain. Hidayat (2021) dalam rancangan inkubator berbiaya rendah, memanfaatkan lampu pijar tidak hanya sebagai penerang, tetapi juga sebagai elemen pemanas resistif yang efektif dan mudah dikontrol untuk menjaga suhu di dalam ruang inkubator.

10. LCD (Liquid Crystal Display)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah teknologi layar datar yang digunakan untuk menampilkan informasi berupa teks, angka, atau gambar. Untuk proyek berbasis mikrokontroler, jenis yang umum digunakan adalah LCD karakter 16x2, yang berarti mampu menampilkan 2 baris teks dengan masing-masing 16 karakter. (Gunoto et al., 2022)) menyebutkan bahwa penggunaan modul I2C pada LCD sangat menyederhanakan proses perakitan, karena jumlah kabel yang dibutuhkan untuk terhubung ke mikrokontroler berkurang drastis menjadi hanya empat kabel (VCC, GND, SDA, SCL), sehingga membuat desain rangkaian lebih rapi dan efisien

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model prototipe sangat efektif dalam proyek pengembangan perangkat keras dan lunak karena dapat membantu mengklarifikasi kebutuhan pengguna dan mengidentifikasi potensi masalah teknis sejak dini. Alur penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan utama, yang mencakup identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian.

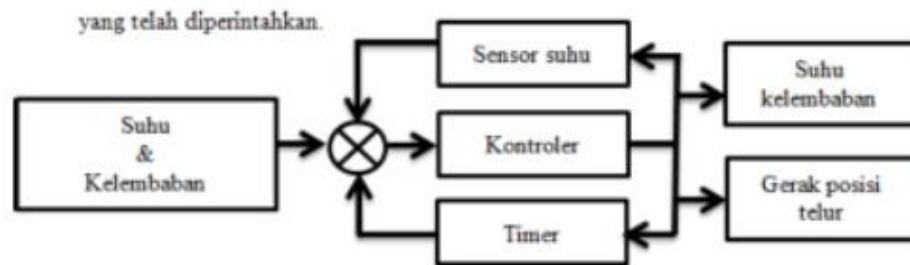
1. Initial Requirments

Pada tahap ini, kebutuhan yang telah dianalisis diterjemahkan ke dalam rancangan teknis yang detail. Perancangan sistem dibagi menjadi dua bagian.

- a. Perancangan Perangkat Keras (Hardware): Meliputi pembuatan skema rangkaian elektronik yang menghubungkan semua komponen seperti Arduino Uno, sensor DHT11, motor stepper, relay, dan LCD. Diagram blok digunakan untuk memvisualisasikan arsitektur sistem secara keseluruhan dan interaksi antar
- b. Perancangan Perangkat Lunak (Software): Merancang alur logika program menggunakan flowchart. Menurut (Ensmenger, 2016), penggunaan flowchart sangat penting dalam merepresentasikan alur kerja algoritma secara visual sebelum diimplementasikan ke dalam kode program, sehingga memudahkan proses coding dan pelacakan kesalahan

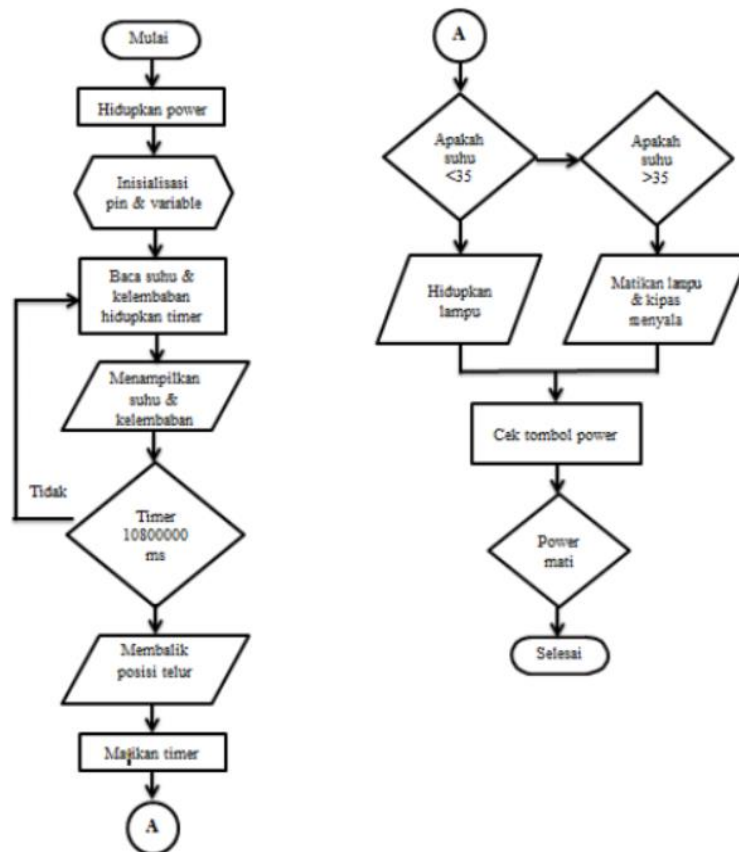
2. Desain dan Developmen

Tahap implementasi adalah proses merealisasikan rancangan menjadi sebuah produk fisik dan fungsional. Implementasi Perangkat Keras: Merakit semua komponen elektronik pada papan PCB dan menyatukannya ke dalam boks inkubator yang telah dibuat sesuai desain, Langkah awal yang dilakukan adalah membuat rancangan incubator Berikut adalah rancangan incubator:



Gambar 2. Rancangan Inkubator

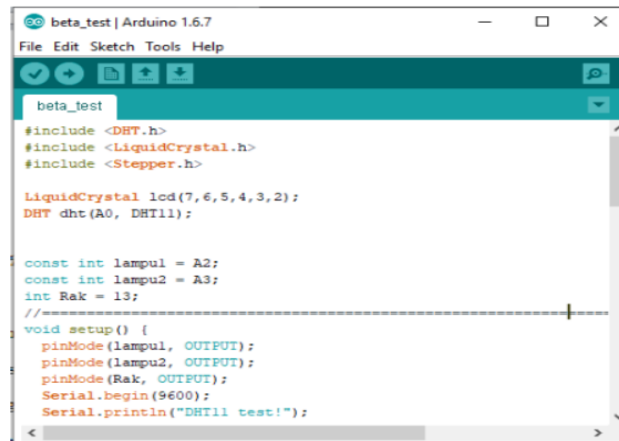
Selanjutnya adalah membuat alur dari program / aplikasi incubator penetas telur dengan otatamtisasi mikrokontroler yang dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar3. Flowchat Program

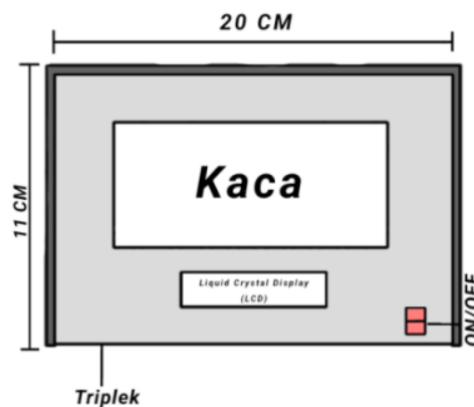
Pengembangan perangkat lunak pada penelitian ini dilakukan secara sistematis. Tahap pertama adalah merancang alur algoritma yang selaras dengan rancangan sistem secara keseluruhan. Algoritma tersebut kemudian divisualisasikan ke dalam diagram flowchart untuk memetakan logika kerja secara terstruktur. Berdasarkan flowchart tersebut, program akhir kemudian ditulis dalam bahasa C dan dikompilasi menggunakan perangkat

lunak Arduino untuk diunggah ke mikrokontroler. Berikut adalah gambar program incubator.



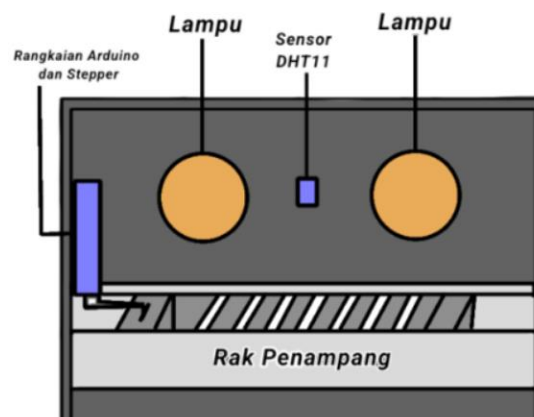
Gambar 4. Program melalui aplikasi Arduino

Selanjutnya adalah merancang prototipe, Untuk membangun prototipe, langkah pertama adalah membuat rancangan sementara dan sketsa yang bertujuan untuk memecahkan masalah utama, yaitu bagaimana cara membalikkan telur secara otomatis. Realisasi dari rancangan ini didukung oleh pemilihan perangkat keras dan perangkat lunak yang tepat untuk membangun sistem yang fungsional. Berikut adalah gambarnya.



Gambar 5. Sketsa luar

Pada perancangan ini, boks inkubator dibuat dari bahan triplek kayu dengan ukuran spesifik panjang 20 cm, tinggi 11 cm, dan lebar 14 cm. Alasan utama pemilihan material triplek adalah karena sifatnya yang efektif dalam mempertahankan kehangatan, harganya yang terjangkau, ketersediaannya yang luas, dan kemudahannya untuk dibentuk menjadi boks atau struktur lainnya. hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini,



Gambar 6. Sketsa Dalam

sesuai dengan yang telah diperintahkan Implementasi Perangkat Lunak: Menulis kode program berdasarkan flowchart yang telah dirancang. Pemrograman dilakukan menggunakan bahasa C/C++ pada platform Arduino IDE, kemudian kode tersebut diunggah ke mikrokontroler Arduino Uno

4. Validasi dan Pengujian Purwarupa (User Validation), Setelah purwarupa berhasil dibangun, tahap selanjutnya adalah melakukan serangkaian pengujian untuk memvalidasi fungsionalitasnya. Tahap ini bertujuan untuk memastikan purwarupa dapat berjalan sesuai dengan tujuan perancangan. Dua metode pengujian digunakan yaitu
 - a. Pengujian Kotak Putih (*White Box Testing*): Pengujian ini berfokus pada pemeriksaan struktur internal dan alur logika kode program untuk memastikan tidak ada kesalahan. Pengujian ini berfokus pada pemeriksaan struktur internal kode program. Menurut (Maspupah, 2024), tujuan dari white box testing adalah untuk memverifikasi semua alur logika, percabangan (if-else), dan perulangan dalam kode telah berjalan dengan benar. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan memeriksa setiap baris fungsi pada Arduino IDE untuk memastikan output yang dihasilkan sesuai dengan perintah.

Tabel 2. Pengujian White Box

No	Input	Program	Keterangan
1	Pergeseran rak	<code>int ledstate = LOW;
long lasttime = 0;
long input = 6000;
long input2 = 10800000;
long sensor = 100;</code>	Berhasil menggeser rak
2	Membaca sensor suhu pada module DHT11	<code>float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature();
if (isnan(t) isnan(h)) {
Serial.println("Failed to read from DHT");
}
if (t > 35) {
digitalWrite(lampu1, HIGH);
digitalWrite(lampu2, HIGH);
} else {
digitalWrite(lampu1, LOW);
digitalWrite(lampu2, LOW);
}</code>	Berhasil membaca sensor suhu
3	Menampilkan hasil sensor suhu ke LCD	<code>lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("LEMBAB:
");
lcd.print(h);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("SUHU:
");
lcd.print(t);
lcd.print(" C");</code>	Berhasil menampilkan hasil sensor

- b. Pengujian Kotak Hitam (*Black Box Testing*): Pengujian ini mengevaluasi fungsionalitas sistem dari sudut pandang pengguna tanpa melihat kode internalnya. Tujuannya adalah untuk memvalidasi apakah sistem telah memenuhi persyaratan fungsional. Pengujian Kotak Hitam (*Black Box Testing*), Pengujian ini mengevaluasi fungsionalitas sistem dari sudut pandang pengguna, tanpa melihat struktur kode internalnya (Barraood et al., 2023) menyatakan bahwa black box testing bertujuan untuk memvalidasi apakah sistem telah memenuhi persyaratan fungsional yang telah

ditentukan. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menguji setiap fungsi alat, seperti akurasi pembacaan sensor, ketepatan waktu perputaran motor, dan respons lampu terhadap perubahan suhu.

Tabel 2. Pengujian Motor Stepper

No	Kondisi Input	Kondisi
1	High	On
2	Low	Off
3	High	On
No	Kondisi Input	Kondisi
4	Low	Off
5	High	On

Validasi fungsional terhadap motor stepper dilakukan melalui lima kali percobaan. Hasilnya mengonfirmasi bahwa motor akan melakukan satu putaran saat diberi sinyal High dan diam saat sinyal Low, seperti yang tertera pada Tabel 2. Pada sistem ini, motor diprogram untuk mengaktifkan siklus putaran setiap tiga jam, di mana proses pengujiannya didokumentasikan pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 12. Pengujian Telur Sebelum Berputar

Dilakukan pengujina dengan perputaran sehingga di dapatkan hasil pergerakan yang dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 13. Pengujian Telur Setelah Berputar

Dokumentasi visual pada gambar tersebut memvalidasi kinerja sistem pemutar otomatis. Pengamatan pada telur yang diberi tanda menunjukkan bahwa sistem mampu memutar telur secara vertikal, sehingga memastikan tercapainya distribusi panas yang homogen pada seluruh telur.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun sebuah purwarupa inkubator penetas telur dengan rak otomatis berbasis mikrokontroler yang fungsional. Sistem ini memberikan solusi inovatif untuk mengatasi kelemahan inkubator manual dengan menyediakan lingkungan yang stabil dan terkontrol secara presisi. Penggunaan mikrokontroler memungkinkan kontrol suhu dan kelembaban yang optimal , sementara

sistem rak otomatis memastikan telur diputar secara teratur tanpa intervensi manual, yang sangat penting untuk perkembangan embrio yang sehat dan merata. Purwarupa ini berpotensi besar untuk meningkatkan tingkat keberhasilan penetasan, efisiensi waktu, dan higienitas dalam proses peternakan ayam skala kecil hingga menengah

DAFTAR PUSTAKA

- Adame, M. M., & Ameha, N. (2023). Review on egg handling and management of incubation and hatchery environment. *Asian J. Biol. Sci*, 16(4), 474–484.
- Barraood, S. O., Mohd, H., Baharom, F., & Almogahed, A. (2023). Verifying Agile Black-Box Test Case Quality Measurements: Expert Review. *IEEE Access*, 11, 106987–107003.
- Ensmenger, N. (2016). The multiple meanings of a flowchart. *Information & Culture*, 51(3), 321–351.
- Farahiyah, D. (2020). *Rancang Bangun Inkubator Penetas Telur Berbasis Internet Of Things*.
- Gunoto, P., Rahmadi, A., & Susanti, E. (2022). Perancangan alat sistem monitoring daya panel surya berbasis internet of things. *Sigma Teknika*, 5(2), 285–294.
- Lubis, A. C. B., Satria, H., Alayubby, M. F., Putri, R. M., & Triana, C. R. (2021). Efisiensi perbandingan teknologi mesin inkubator penetas telur unggas otomatis menggunakan synchronous motor ac dengan sistem manual. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*.
- Maspupah, A. (2024). Literature Review: Advantages And Disadvantages Of Black Box And White Box Testing Methods. *Jurnal Techno Nusa Mandiri*, 21(2), 151–162.
- Nasiyah, S. N. (2024). Mesin Penetas Telur Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT). *COREAI: Jurnal Kecerdasan Buatan, Komputasi Dan Teknologi Informasi*, 5(2), 135–146.
- Prabowo, M. C. A., Sayekti, I., Astuti, S., Nursaputro, S. T., & Supriyati, S. (2024). Development of an IoT-based egg incubator with PID control system and web application. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 8(1), 465–472.
- Wahyuni, R., Irawan, Y., Febriani, A., Nurhadi, N., Saputra, H. T., & Andrianto, R. (2024). Smart Egg Incubator Based on IoT and AI Technology for

Modern Poultry Farming. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 16(2), 134–144.