

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian tahapan rancang bangun, pengujian sistem, serta analisis data empiris yang telah diselenggarakan terhadap prototipe mesin penetas telur ayam otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT), maka dapat ditarik beberapa kesimpulan substantiasial sebagai berikut:

- **Sistem Pengendali Utama dan Otomasi Mikroklimat:** Konfigurasi sistem kontrol otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 telah berhasil diintegrasikan dan terbukti kompeten dalam meregulasi stabilitas mikroklimat di dalam ruang inkubasi secara aktual (*real-time*) tanpa memerlukan intervensi manual dari operator. Sinergitas antara sensor DHT22, modul relai, dan mikrokontroler ESP32 mampu mempertahankan temperatur dan kelembapan pada kondisi optimal, sekaligus mengirimkan data kondisi inkubator secara real-time melalui platform IoT sehingga proses pemantauan dapat dilakukan dari jarak jauh.
- **Implementasi Sistem Internet of Things (IoT):** Implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) menggunakan protokol MQTT melalui *HiveMQ Cloud* telah berhasil diintegrasikan dengan sistem inkubator berbasis ESP32. Sistem mampu mengirimkan data suhu, kelembapan, serta status aktuator secara *real-time* ke aplikasi Flutter, sehingga pengguna dapat memantau kondisi inkubator dari jarak jauh melalui jaringan internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi data berlangsung dengan baik dan mendukung proses monitoring secara efektif, sehingga

meningkatkan kemudahan pengawasan tanpa harus berada di lokasi incubator

- Karakteristik Elektrikal dan Pemrosesan Sinyal:** Evaluasi teknis pada blok pemrosesan dan keluaran tegangan rendah (*low-voltage output*) mengonfirmasi bahwa modul relai beroperasi dengan kontinuitas mekanis yang sangat andal. Tatkala pin kendali ESP32 mentransmisikan sinyal logika *LOW* (0,0 V), terminal COM-NC saling terhubung dengan nilai resistansi sebesar 109,5 Ω . Sebaliknya, sewaktu dipaparkan sinyal logika *HIGH* (3,232 V), tegangan pemicu berhasil mengaktivasi kumparan induksi sehingga terminal COM bertransisi melekat menuju terminal NO dengan hambatan internal merosot hingga 0 Ω , yang mengindikasikan koneksi jalur elektrikal yang sempurna.
- Kinerja Mekanis dan Sistem Pembalik Rak:** Sistem mekanis pembalik posisi rak telur otomatis yang digerakkan oleh motor DC dan divalidasi oleh sensor *proximity* terbukti andal dalam mengeksekusi algoritma *State Machine* (meliputi *state* 0 hingga *state* 7) secara presisi untuk menjadwalkan rotasi posisi telur dengan interval periodik 3 jam sekali. Pengujian spasial rak (orientasi kemiringan kiri, kanan, dan posisi tengah) memperlihatkan keselarasan penuh terhadap umpan balik (*feedback*) status logika sensor (ON/OFF) pada Pin 34 dan Pin 35, serta kompeten dalam menghentikan perputaran motor DC secara instan saat pembatas mekanis menyentuh sensor *proximity*.
- Homogenitas Distribusi Termal Inkubator:** Pengujian pemetaan distribusi panas memanfaatkan tiga unit *temperature controller* manual membuktikan bahwa pola sirkulasi udara di dalam kompartemen inkubator bersifat homogen dan stabil. Pada kondisi kipas sirkulasi aktif

(ON), sistem mampu mereduksi akumulasi temperatur lokal (*hot spot*) secara signifikan dan meratakan paparan panas ke seluruh sudut ruang pengeraman hingga mencapai nilai yang seragam, sebagaimana terdokumentasi pada pencapaian suhu kembar 38,2°C pada menit ke-30.

- **Efektivitas Biologis dan Daya Tetas:** Pengujian biologis memotong teknik peneropongan (*candling*) terhadap 5 sampel telur ayam kampung (*Gallus domesticus*) menunjukkan tingkat keberhasilan perkembangan awal (*fertility & early viability rate*) mencapai persentase 80% (4 dari 5 telur hidup dan membentuk jalinan vaskularisasi yang optimal hingga hari ke-14). Pada hari ke-19, sistem mencatatkan keberhasilan eklosasi (penetasan) dini pada satu spesimen telur. Variabilitas periodisasi penetasan ini dinilai normal dan valid secara fisiologis merujuk pada teori *hatch window* (interval rentang penetasan 24–48 jam), yang sekaligus mengonfirmasi bahwa rekayasa lingkungan makro oleh sistem ini telah berhasil mensimulasikan mekanisme pengeraman alami secara efektif.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah diselenggarakan, terdapat beberapa rekomendasi konstruktif yang dapat diimplementasikan untuk pengembangan riset maupun penyempurnaan sistem pada masa mendatang, antara lain:

- **Optimalisasi Algoritma Regulasi Mikroklimat:** Sistem pengendalian temperatur dan kelembapan relatif disarankan untuk dikembangkan menggunakan metode kontrol adaptif tingkat lanjut, seperti *Proportional-Integral-Derivative* (PID) atau *Fuzzy Logic*. Penerapan algoritma ini diproyeksikan mampu memitigasi fluktuasi dan mempertahankan

stabilitas mikroklimat di dalam inkubator secara lebih rigid dibandingkan metode berbasis histeresis (*on-off*) yang diterapkan pada penelitian ini.

- **Ekspansi Jaringan Sensorik Spasial:** Kuantifikasi parameter lingkungan di dalam kompartemen inkubasi dapat ditingkatkan melalui integrasi multitik sensor suhu dan kelembapan. Redundansi sensor pada beberapa koordinat ruang ini bertujuan untuk memetakan distribusi termal secara lebih representatif sekaligus meningkatkan akurasi pembacaan input bagi sistem kendali.
- **Peningkatan Kapabilitas Arsitektur IoT:** Ekosistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) perlu dielevasi menjadi sistem supervisi dan kendali dua arah (*monitoring and controlling*). Melalui pengembangan ini, pengguna tidak hanya terbatas pada pemantauan kondisi inkubator via aplikasi Flutter, melainkan juga memiliki otoritas untuk meredefinisi parameter pengaturan (*setpoint*) serta menginterupsi aktuator dari jarak jauh (*remote controlling*).
- **Pengayaan Fitur Antarmuka Pengguna:** Pengembangan *user interface* (UI) pada aplikasi Flutter dapat dioptimalkan melalui penambahan fitur pencatatan data historis (*data logging*), visualisasi grafik fluktuasi parameter termal, sistem purwarupa notifikasi (*alert system*) saat terjadi anomali mikroklimat, serta digitalisasi logbook periodisasi penetasan untuk mempermudah proses evaluasi performa sistem.
- **Peningkatan Presisi Sistem Mekanis:** Mekanisme pembalikan posisi rak telur disarankan untuk diperbarui dengan mengintegrasikan sensor umpan balik posisi (*feedback sensor*) atau komponen *rotary encoder*. Penambahan instrumen ini ditujukan untuk mengeskalasi kepresisian

orientasi sudut rak sekaligus mereduksi toleransi kesalahan mekanis (*mechanical error*) selama siklus rotasi berlangsung.

- **Validasi Skala Eksperimen Makro:** Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan pengujian performa dengan melibatkan kapasitas volume telur yang lebih masif, diversifikasi varietas spesies unggas, serta perpanjangan durasi periodisasi pengujian. Langkah ini krusial guna mengevaluasi parameter daya tetas (*hatchability rate*) serta menguji reliabilitas dan durabilitas sistem secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Wahyu Kinnasih and Dzulkiflih, “RANCANG BANGUN ALAT PENGONTROL SUHU DAN KELEMBAPAN PADA TEMPAT PENETASAN TELUR MENGGUNAKAN SENSOR DHT22 DAN MOTOR SWING BERBASIS IoT,” *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. 11, pp. 57–72, 2022.
- [2] U. P. Rahayu, T. Komputer, F. Teknik, and U. T. Indonesia, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Inkubator Telur Otomatis Berbasis Iot Menggunakan Sensor Dht22 Dan Mikrokontroler Esp-32 Teknik Elektro , Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer , Universitas Teknokrat Indonesia , Indonesia Design Of Automatic Egg Incubator Mo,” vol. 5, no. 7, pp. 2117–2129, 2025.
- [3] R. Tawakkal, “Rancang Bangun Alat Penetas Telur Otomatis Menggunakan Metode Fuzzy Logic,” 2021.
- [4] D. A. Muktiawan, B. Nugroho, N. H. Sudibyo, and Y. Septiawan, “Sistem Monitoring dan Pengendalian Alat Penetas Telur Berbasis IoT untuk Optimasi Tingkat Keberhasilan Penetasan,” vol. 11, no. 1, pp. 128–137, 2025, doi: 10.31980/jpetik.v.
- [5] J. Teknovasi, M. Teknik, E. Universitas, and M. Karya, “IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM SISTEM PEMANTAUAN SERTA KONTROL SUHU DAN PAKAN AYAM,” vol. 09, pp. 89–104, 2022.
- [6] M. R. R. Jusman, S. Masita, and M. Dzarfaraby, “PENETAS TELUR BERBASIS IOT (Internet Of Things),” *Maple*, vol. 3, p. 2, 2021.
- [7] P. T. PENS, “Modul 1 Pengenalan ESP32 Board,” *MK Internet of Things*, vol. 6, pp. 1–16, 2019.
- [8] U. Suska, “BAB II Dasar Teori,” *UIN Suska*, vol. 5, no. 1, pp. 1689–1699, 2016.
- [9] F. Saputra, D. R. Suchendra, and M. I. Sani, “MIKROKONTROLLER NODEMCU ESP8266 PADA RUANGAN IMPLEMENTATION OF DHT22 SENSOR SYSTEM TO STABILIZE TEMPERATURE AND HUMIDITY BASED ON MICROCONTROLLER NODEMCU ESP8266 IN SPACE Abstrak : Suhu dan kelembapan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi terhadap kenyamanan bagi manusia , tidak hanya manusia yang yang membutuhkan kenyamanan dalam ruangan terkadang nyaman . Menstabilkan suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22 merupakan alternative Abstract :

- Temperature and humidity are factors that greatly affect the comfort for humans, not only humans,” vol. 6, no. 2, pp. 1977–1984, 2020.
- [10] PT Motor Mobile Net, “Cara Merawat Motor Power Window dengan Mudah,” Berita Motor Mobile. [Online]. Available: <https://www.motormobile.net/m/more.php?id=8214>
- [11] Y. Guo, Z. Shao, and T. Li, “An Analog-Digital Mixed Measurement Method of Inductive Proximity Sensor,” no. October 2015, 2016, doi: 10.3390/s16010030.
- [12] Turhamun, Azhar, and A. Finawan, “Rancang bangun pemisah benda logam dan non logam menggunakan elektro pneumatic,” vol. 1, no. 1, pp. 42–48, 2017.
- [13] B. M. Iqbal, Sotyohadi, and M. I. Ashari, “RANCANG BANGUN METODE TANAM AEROPONIK DENGAN PENGABUTAN MIST MAKER DAN LED GROW LIGHT,” *Magnetika*, vol. 07, no. 2, pp. 378–384, 2023.
- [14] E. A. Prastyo, “Mengenal Modul Relay Arduino,” Arduino Indonesia. [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2024/02/mengenal-modul-relay-arduino-cara-kerja-dan-aplikasi-praktis.html>
- [15] S. Brinkey, “BTS7960 Motor Driver Datasheet and Circuit Diagram,” Ovaga. [Online]. Available: <https://www.ovaga.com/blog/transistor/bts7960-motor-driver-datasheet-and-circuit-diagram?srsltid=AfmBOopCjoKt1wJuhzHP8E8MuEqTkNLwFPFFIIL0-LXbhbGxWDbHuE5m>
- [16] S. Yalcin, S. Özkan, and T. Shah, “Incubation Temperature and Lighting : Effect on Embryonic Development , Post-Hatch Growth , and Adaptive Response,” vol. 13, no. May, pp. 1–16, 2022, doi: 10.3389/fphys.2022.899977.
- [17] P. E. N. Givisiez *et al.*, “Chicken embryo development : metabolic and morphological basis for in ovo feeding technology Development of Extraembryonic,” *Poult. Sci.*, vol. 99, no. 12, pp. 6774–6782, 2017, doi: 10.1016/j.psj.2020.09.074.
- [18] E. T. Fonseca *et al.*, “Embryonic Development of Chicken (*Gallus Domesticus*) From 1st to 19th Day — Ectodermal Structures,” vol. 00, no. May, pp. 1–9, 2013, doi: 10.1002/jemt.22288.

- [19] A. Jabbar, "The Eggs Turning Frequencies and Turning Angle During Incubation," vol. 7, no. 2, pp. 31–34, 2023, doi: 10.11648/j.ijast.20230702.14.
- [20] O. Elibol and J. Brake, "MOLECULAR , CELLULAR , AND DEVELOPMENTAL BIOLOGY Effect of Egg Turning Angle and Frequency During Incubation on Hatchability and Incidence of Unhatched Broiler Embryos with Head in the Small End of the Egg 1," *Poult. Sci.*, vol. 85, no. 8, pp. 1433–1437, 2003, doi: 10.1093/ps/85.8.1433.
- [21] G. S. Oliveira, J. C. Rodrigues, and S. T. Nascimento, "Effects of different egg turning frequencies on incubation efficiency parameters," pp. 4417–4420, 1954, doi: 10.1016/j.psj.2020.05.045.
- [22] F. Peternakan, U. Sam, and R. Manado, "No Title," vol. 39, no. 2, pp. 444–450, 2019.
- [23] W. Iskandaria, S. Anggriani, A. Shahrani, and M. Wahyuni, "Jurnal Biologi Tropis Development of Free-Range Chicken (*Gallus domesticus*) Egg Embryos With Brood Incubation and Incubation," 2023.
- [24] J. R. Deines, F. D. Clark, D. E. Yoho, R. K. Bramwell, and S. J. Rochell, "Effects of hatch window and nutrient access in the hatcher on performance and processing yield of broiler chicks reared according to time of hatch," *Poult. Sci.*, vol. 100, no. 9, p. 101295, 2005, doi: 10.1016/j.psj.2021.101295.