

Rancang Bangun Inkubator Penetas Telur Penyu (*Chelonioidea*) Semi Otomatis Penentu Jenis Kelamin Penyu

Dedi Suryadi, M Ridho Sepriasi, Nurul Iman Supardi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jalan WR Supratman Muara Bangkahulu Bengkulu, Indonesia
Email: dedi_suryadi@unib.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan inkubator penetas telur penyu (*Chelonioidea*) semi otomatis yang mampu mengendalikan kondisi lingkungan inkubasi guna mendukung keberhasilan penetasan sekaligus menentukan jenis kelamin tukik. Sistem inkubator dirancang menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor suhu thermocouple tipe-K dan sensor kelembaban tanah YL-69. Pengaturan parameter inkubasi dilakukan pada dua ruang berbeda, yaitu ruang inkubasi betina dengan suhu 30°C dan kelembaban 60%, serta ruang inkubasi jantan dengan suhu 26°C dan kelembaban 70%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan suhu dan kelembaban sesuai dengan nilai yang ditetapkan. Dari 40 butir telur pada ruang inkubasi betina, diperoleh 23 tukik (57,5%), sedangkan pada ruang inkubasi jantan dihasilkan 18 tukik (45%) dari 40 butir telur. Meskipun tingkat keberhasilan penetasan masih tergolong sedang, sistem inkubator semi otomatis yang dikembangkan terbukti mampu mendukung proses penetasan dan pengondisian jenis kelamin penyu secara terkontrol.

Kata kunci, inkubator semi otomatis, penyu, suhu, kelembaban, jenis kelamin tukik

1 Pendahuluan

Penyu merupakan satwa reptil laut yang memiliki mekanisme penentuan jenis kelamin berbasis suhu atau temperature-dependent sex determination (TSD), di mana suhu inkubasi telur berperan penting dalam menentukan jenis kelamin tukik yang dihasilkan. Selain itu, penyu berkembang biak secara ovipar dan memiliki siklus hidup yang panjang, sehingga sangat rentan terhadap ancaman kepunahan. Berbagai faktor lingkungan, seperti perubahan iklim, peningkatan suhu pasir, kelembaban yang tidak stabil, serta gangguan habitat, berkontribusi terhadap rendahnya tingkat keberhasilan penetasan telur penyu di alam.

Tingkat keberhasilan penetasan telur penyu di habitat alami relatif rendah, terutama ketika kondisi suhu dan kelembaban tidak berada pada rentang optimal. Suhu inkubasi yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan kegagalan perkembangan embrio, bahkan kematian. Selain itu, kondisi lingkungan yang tidak stabil, seperti curah hujan yang tinggi dan perubahan kadar air dalam pasir, turut memengaruhi proses inkubasi. Faktor-faktor tersebut diperparah oleh kerusakan habitat pesisir akibat aktivitas manusia, abrasi pantai, serta pencemaran lingkungan yang mengurangi keberhasilan reproduksi penyu.

Upaya konservasi penyu telah dilakukan melalui metode penetasan semi alami, yaitu dengan memindahkan telur ke lokasi yang lebih aman. Namun, metode ini masih memiliki keterbatasan dalam mengontrol parameter lingkungan secara presisi. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem inkubasi buatan yang mampu mengendalikan suhu dan kelembaban secara optimal agar dapat meningkatkan keberhasilan penetasan sekaligus mengontrol rasio jenis kelamin tukik.

Inkubator telur merupakan suatu sistem tertutup yang dirancang untuk menciptakan kondisi lingkungan menyerupai habitat alami dengan pengendalian suhu dan kelembaban secara terkontrol. Perkembangan teknologi mikrokontroler memungkinkan sistem inkubator dikembangkan secara otomatis dan lebih presisi dalam mengatur parameter inkubasi. Penggunaan sensor suhu dan kelembaban yang terintegrasi dengan sistem kendali memberikan peluang untuk meningkatkan stabilitas lingkungan inkubasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan inkubator penetas telur penyu semi otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang mampu mengendalikan suhu dan kelembaban sesuai dengan kebutuhan penentuan jenis kelamin tukik. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam mendukung upaya konservasi penyu melalui peningkatan keberhasilan penetasan serta pengendalian kondisi inkubasi secara lebih efektif dan terukur.

2 Material dan Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan seperangkat alat dan bahan untuk merancang serta menguji kinerja inkubator penetas telur penyu semi otomatis. Alat utama yang digunakan adalah sistem inkubator berbasis mikrokontroler yang dilengkapi dengan komponen pengendali suhu dan kelembaban. Komponen utama meliputi mikrokontroler Arduino Uno sebagai unit kendali, sensor suhu thermocouple tipe-K untuk pengukuran temperatur, serta sensor kelembaban tanah YL-69 untuk mengukur kadar air media inkubasi.

Selain itu, digunakan beberapa komponen pendukung, antara lain lampu pijar sebagai sumber panas, peltier cooling system sebagai sistem pendingin, exhaust fan untuk sirkulasi udara, mini water pump untuk menjaga kelembaban media, serta LCD 16×2 sebagai media monitoring parameter suhu dan kelembaban secara real-time.

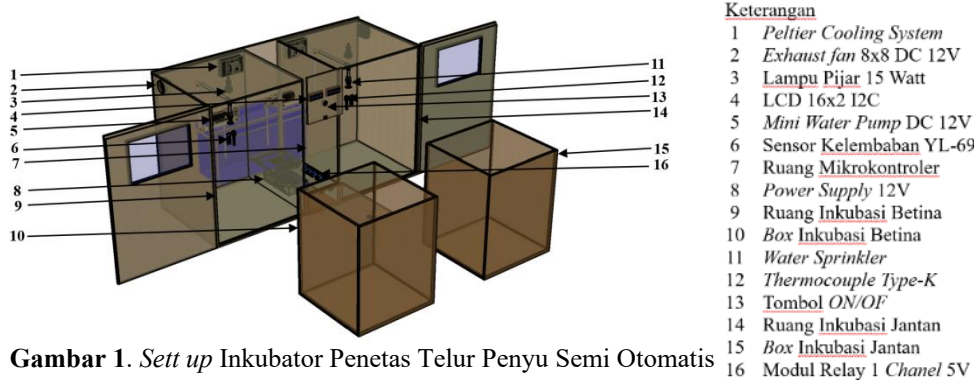
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah telur penyu jenis lekang (*Lepidochelys olivacea*) sebanyak 80 butir sebagai objek uji. Media inkubasi yang digunakan berupa pasir pantai yang menyerupai habitat alami penyu dalam proses bertelur.

2.2. Perancangan Sistem Inkubator

Inkubator dirancang dalam bentuk ruang tertutup yang terdiri dari dua ruang inkubasi terpisah, yaitu ruang inkubasi untuk menghasilkan jenis kelamin jantan dan betina. Masing-masing ruang dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban yang terhubung dengan mikrokontroler untuk melakukan pengendalian secara otomatis.

Sistem kendali bekerja berdasarkan prinsip umpan balik (feedback control), di mana sensor akan membaca kondisi aktual suhu dan kelembaban, kemudian mikrokontroler akan mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator sesuai dengan nilai setpoint yang telah ditentukan. Lampu pijar digunakan untuk menaikkan suhu, sedangkan peltier cooling system dan exhaust fan digunakan untuk menurunkan suhu ketika melebihi batas yang diinginkan. Mini water pump berfungsi untuk menjaga kelembaban media inkubasi dengan menyuplai air ketika nilai kelembaban berada di bawah batas minimum.

2.3. Rencana Desain



Gambar 1. *Sett up* Inkubator Penetas Telur Penyu Semi Otomatis

2.4. Proses Fabrikasi

Inkubator penetas telur penyu semi otomatis ini menggunakan Arduino Uno sebagai *mikrokontroller* untuk mengendalikan seluruh komponen. *Thermocouple type-k* dan sensor kelembaban YL-69 yang dipasang langsung pada *box* inkubasi yang berisi pasir pantai untuk mengukur suhu dan kelembaban media. *exhaust fan* di samping inkubator berfungsi membuang panas berlebih. Dua buah LCD 16x2 di bagian depan menampilkan suhu dan kelembaban dari *box* inkubasi untuk pengondisian ruang inkubasi jantan dan betina. *Mini water pump* di belakang inkubator, tepat di atas *box* air yang berfungsi untuk memompa air sebagai penambah kelembaban media inkubasi ketika kelembaban kurang dari yang ditetapkan. Lampu pijar di atas *box* inkubasi untuk menaikkan suhu. Sementara itu, *peltier cooling system* di belakang inkubator untuk menurunkan suhu jika melebihi batas yang diinginkan.

Spesifikasi dari inkubator penetas telur penyu semi otomatis dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 1. Spesifikasi Inkubator

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Ukuran <i>Box</i> Inkubasi Jenis Kelamin Jantan	500x400 mm
2	Ukuran <i>Box</i> Inkubasi Jenis Kelamin Betina	500x400 mm
3	Ukuran Inkubator	700x1200x500 mm
4	Kapasitas <i>Box</i> Inkubasi	40 Butir

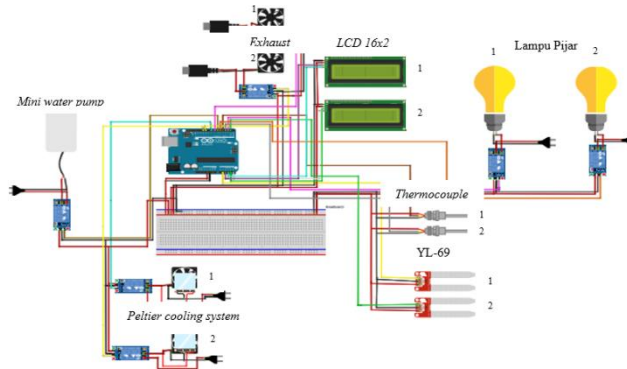
2.5. Parameter dan Variabel Penelitian

Parameter utama dalam penelitian ini adalah suhu dan kelembaban media inkubasi yang berperan dalam menentukan keberhasilan penetasan dan jenis kelamin tukik. Variasi kondisi inkubasi dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

Ruang inkubasi betina: suhu 30°C dan kelembaban 60%
 Ruang inkubasi jantan: suhu 26°C dan kelembaban 70%

Variabel yang diamati meliputi:

Stabilitas suhu dan kelembaban selama proses inkubasi
 Distribusi suhu dan kelembaban pada media inkubasi
 Tingkat keberhasilan penetasan telur (%)
 Lama waktu inkubasi (hari)



Gambar 2. *Wiring Diagram* Inkubator Penyu

2.6. Metoda Pengujian Ketahanan Panas

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem inkubator. Analisis dilakukan terhadap kestabilan suhu dan kelembaban, distribusi parameter lingkungan, serta tingkat keberhasilan penetasan telur.

Persentase keberhasilan penetasan dihitung menggunakan persamaan:

$$Daya\ Tetas\ \% = \frac{Jumlah\ Telur\ Menetas}{Jumlah\ Telur\ Awal} \times 100\% \quad (1)$$

Selain itu, dilakukan analisis terhadap hubungan antara kondisi suhu dan kelembaban dengan lama waktu inkubasi serta jumlah telur yang berhasil menetas.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Kinerja Sistem Inkubator

Hasil perancangan menunjukkan bahwa inkubator penetas telur penyu semi otomatis yang dikembangkan mampu beroperasi sesuai dengan fungsi yang direncanakan. Sistem kendali berbasis mikrokontroler Arduino Uno berhasil mengintegrasikan sensor suhu thermocouple tipe-K dan sensor kelembaban YL-69 dalam memonitor kondisi lingkungan inkubasi secara real-time. Selain itu, aktuator seperti lampu pijar, peltier cooling system, exhaust fan, dan mini water pump mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara otomatis berdasarkan nilai setpoint yang telah ditentukan.

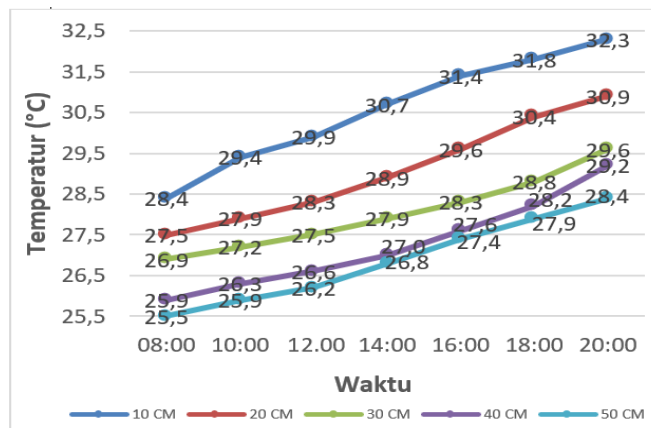
Pengujian sistem menunjukkan bahwa mekanisme kontrol berbasis ambang (threshold control) berjalan dengan baik. Pada kondisi suhu di bawah setpoint, lampu pemanas aktif untuk meningkatkan temperatur, sedangkan pada kondisi suhu di atas setpoint, sistem pendingin dan exhaust fan bekerja untuk menurunkan suhu. Demikian pula pada pengendalian kelembaban, pompa air aktif ketika nilai kelembaban berada di bawah

batas minimum yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki respons yang stabil terhadap perubahan parameter lingkungan.

3.2. Distribusi Suhu pada Media Inkubasi

Hasil pengujian distribusi suhu menunjukkan bahwa terdapat variasi temperatur berdasarkan kedalaman media inkubasi. Pada kedalaman 10–20 cm, peningkatan suhu terjadi lebih cepat dibandingkan pada kedalaman yang lebih dalam (30–50 cm). Hal ini disebabkan oleh jarak yang lebih dekat terhadap sumber panas (lampu pijar), sehingga energi panas lebih cepat diserap oleh lapisan permukaan.

Sebaliknya, pada kedalaman yang lebih dalam, proses konduksi panas berlangsung lebih lambat sehingga kenaikan suhu terjadi secara bertahap. Meskipun demikian, distribusi suhu secara keseluruhan masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk proses inkubasi. Distribusi suhu yang relatif merata pada lapisan permukaan menunjukkan bahwa sistem mampu menciptakan kondisi termal yang cukup homogen secara horizontal.



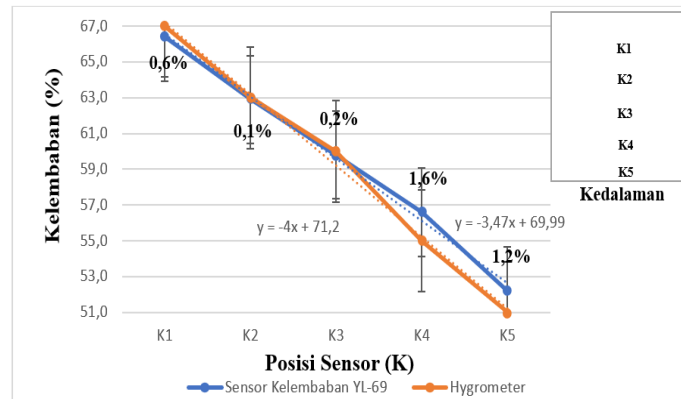
Gambar 3. Grafik Pengujian Distribusi Temperatur Terhadap Kedalaman Media Inkubasi

3.3. Distribusi Kelembaban pada Media Inkubasi

Distribusi kelembaban pada media inkubasi menunjukkan tren penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini disebabkan oleh proses infiltrasi air yang lebih dominan pada lapisan permukaan, sehingga kelembaban pada bagian atas cenderung lebih tinggi dibandingkan bagian bawah.

Penurunan kelembaban yang terjadi masih berada dalam batas toleransi untuk mendukung perkembangan embrio penyu. Selain itu, hasil pengukuran antara sensor YL-69 dan hygrometer menunjukkan selisih yang relatif kecil, sehingga validitas data kelembaban dapat diterima.

Distribusi kelembaban pada permukaan media inkubasi menunjukkan kestabilan yang cukup baik dengan variasi yang kecil antar titik pengukuran. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pengabutan air (mini water pump) mampu menjaga kelembaban secara merata pada area inkubasi.



Gambar 4. Grafik pengujian distribusi kelembaban terhadap kedalaman media inkubasi

3.4. Kinerja Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban

Pengujian sistem kendali menunjukkan bahwa inkubator mampu mempertahankan kondisi suhu dan kelembaban sesuai dengan setpoint yang ditentukan untuk masing-masing ruang inkubasi. Pada ruang inkubasi betina, suhu stabil pada kisaran 30°C, sedangkan pada ruang inkubasi jantan berada pada kisaran 26°C.

Sistem kendali menunjukkan adanya karakteristik histeresis, yang berfungsi untuk mencegah aktuator bekerja secara terus-menerus (on-off cycling) dalam waktu singkat. Hal ini penting untuk meningkatkan efisiensi sistem dan memperpanjang komponen.

Secara keseluruhan, sistem kendali menunjukkan performa yang stabil dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga mampu menjaga parameter inkubasi dalam rentang optimal.

Tabel 2 Rangkuman Kondisi Kendali

Parameter	Kondisi Kendali
Temperatur Betina < 30°C	Lampu <i>ON</i> , Exhaust & Peltier <i>OF</i>
Temperatur Betina > 30°C	Lampu <i>OF</i> , Exhaust & Peltier <i>ON</i>
Kelembaban Betina < 60%	Pompa <i>ON</i>
Kelembaban Betina > 60%	Pompa <i>OF</i>

Temperatur Jantan < 26°C	Lampu <i>ON</i> , <i>Exhaust</i> & <i>Peltier OF</i>
Temperatur Jantan > 26°C	Lampu <i>OF</i> , <i>Exhaust</i> & <i>Peltier ON</i>
Kelembaban Jantan < 70%	Pompa <i>ON</i>
Kelembaban Jantan > 70%	Pompa <i>OF</i>

3.5. Hasil Penetasan Telur Penyu

Hasil inkubasi selama ± 75 hari menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan penetasan berbeda pada masing-masing kondisi inkubasi. Pada ruang inkubasi betina, diperoleh tingkat penetasan sebesar 57,5% (23 dari 40 butir telur), sedangkan pada ruang inkubasi jantan sebesar 45% (18 dari 40 butir telur).

Perbedaan tingkat keberhasilan ini menunjukkan bahwa suhu inkubasi memiliki pengaruh signifikan terhadap perkembangan embrio. Suhu yang lebih tinggi pada ruang inkubasi betina cenderung mempercepat proses metabolisme embrio, sehingga waktu inkubasi menjadi lebih singkat (sekitar 60–65 hari). Sebaliknya, pada suhu yang lebih rendah, proses inkubasi berlangsung lebih lama (66–71 hari) dengan tingkat keberhasilan yang lebih rendah.

Tabel 3 Daya Tetas Telur Penyu

Ruang Inkubasi Betina (40 Butir)		Ruang Inkubasi Jantan (40 Butir)	
Tanggal	Jumlah	Tanggal	Jumlah
21/03-2025	2 Ekor	27/03-2025	3 Ekor
22/03-2025	5 Ekor	28/03-2025	1 Ekor
23/03-2025	5 Ekor	29/03-2025	2 Ekor
24/03-2025	6 Ekor	30/03-2025	3 Ekor
25/03-2025	2 Ekor	31/03-2025	5 Ekor
26/03-2025	3 Ekor	01/04-2025	4 Ekor
Total	23 Ekor	Total	18 Ekor
persentase	57.5%	persentase	45%
Total Keseluruhan		41 Ekor	
Presentase Keseluruhan		51.25%	

Berdasarkan hasil pengamatan terlihat bahwa tingkat keberhasilan penetasan telur penyu pada ruang inkubasi betina mencapai 57,5% dengan durasi inkubasi yang lebih singkat, yaitu 60-65 hari. Sementara itu, pada ruang inkubasi jantan mencapai 45% dengan durasi inkubasi yang lebih lama, yaitu 66-71 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu berperan penting dalam mempengaruhi tingkat penetasan dan lama waktu inkubasi telur penyu. Semakin tinggi suhu maka semakin cepat telur menetas dan jumlah telur yang menetas juga lebih banyak. Hal ini karena suhu mempengaruhi proses

perkembangan dan metabolisme embrio^[9]. Dari kedua ruang inkubasi mendapatkan total penetasan 41 ekor dari 80 butir telur yang diinkubasi sehingga mendapatkan persentase sebesar 51.25%. Sampel hasil penetasan telur penyu dapat dilihat pada Gambar ini.



Tukik Jantan



Tukik Betina

3.6. Analisis Pengaruh Suhu dan Kelembaban

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu merupakan parameter dominan dalam menentukan keberhasilan penetasan dan lama waktu inkubasi. Peningkatan suhu dalam batas optimal dapat mempercepat perkembangan embrio, namun suhu yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan kegagalan penetasan.

Kelembaban juga berperan penting dalam menjaga kondisi fisiologis embrio, terutama dalam mencegah dehidrasi telur. Namun, pengaruh kelembaban terhadap keberhasilan penetasan tidak sebesar pengaruh suhu, selama masih berada dalam rentang yang sesuai.

Dengan demikian, kombinasi pengendalian suhu dan kelembaban yang tepat sangat diperlukan untuk meningkatkan keberhasilan penetasan serta mengontrol jenis kelamin tukik.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa inkubator penetas telur penyu semi otomatis berbasis mikro-kontroler Arduino Uno mampu berfungsi dengan baik dalam mengendalikan parameter lingkungan inkubasi, khususnya suhu dan kelembaban. Sistem kendali yang diterapkan menunjukkan respons yang stabil dan mampu mempertahankan kondisi inkubasi mendekati nilai setpoint yang telah ditentukan untuk masing-masing ruang inkubasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa distribusi suhu dan kelembaban pada media inkubasi relatif merata, meskipun terdapat variasi berdasarkan kedalaman akibat mekanisme perpindahan panas dan distribusi air pada media pasir. Sistem pengukuran yang

digunakan juga memiliki tingkat akurasi yang baik dengan selisih pembacaan yang rendah antar sensor.

Dari proses inkubasi selama ± 75 hari, diperoleh tingkat keberhasilan penetasan sebesar 57,5% pada kondisi inkubasi betina dan 45% pada kondisi inkubasi jantan, dengan total keberhasilan sebesar 51,25%. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu inkubasi memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan penetasan dan lama waktu inkubasi, di mana suhu yang lebih tinggi dalam batas optimal cenderung meningkatkan laju perkembangan embrio.

Secara keseluruhan, sistem inkubator yang dikembangkan mampu mendukung proses penetasan telur penyu serta memberikan kontrol terhadap kondisi lingkungan inkubasi. Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan teknologi konservasi penyu berbasis sistem kendali, meskipun masih diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan tingkat keberhasilan penetasan, seperti optimasi distribusi suhu dan kelembaban serta peningkatan presisi sistem kendali.

Referensi

- [1] H. Santoso, T. Hestirianoto, and I. Jaya, "Sand temperature and moisture monitoring system for turtle nests using Arduino Uno," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 8–14, 2021.
- [2] M. Gammon, S. Fossette, G. McGrath, N. Mitchell, "A systematic review of metabolic heat in sea turtle nests and its impact on hatching success," *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 8, pp. 1–12, 2021.
- [3] A. Rahman, Z. Abidin, and M. Khalwatu, "Design and implementation of automatic turtle egg incubator for conservation," *E3S Web of Conferences*, vol. 317, 2021.
- [4] G. A. Cordero, K. Birk, S. Ruane, S. A. Dinkelacker, and F. J. Janzen, "Effects of the egg incubation environment on turtle development," *Evolution & Development*, vol. 25, no. 2, pp. 153–169, 2023.
- [5] N. Mitchell and F. J. Janzen, "Temperature-dependent sex determination and climate change impacts on reptiles," *Global Change Biology*, vol. 28, no. 4, pp. 1234–1245, 2022.
- [6] Y. W. Prayudha, S. M. Fadhil, and S. Novianto, "Design of temperature calibration system using Arduino-based thermocouple," *Jurnal Asimetrik*, vol. 4, no. 1, pp. 25–34, 2022.

[7] M. B. Ulum, M. Lutfi, and A. Faizin, "IoT-based automatic water pump control system using NodeMCU," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 6, no. 1, pp. 86–93, 2022.

[8] F. S. N. Rohman and P. W. Rusimamto, "Peltier-based cooling system control using microcontroller," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 401–407, 2021.

[9] S. K. Sharma and R. Kumar, "Development of smart incubation system for eggs using microcontroller," *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 9, no. 6, pp. 120–126, 2022.

[10] L. Wang, J. Chen, and Y. Zhang, "Environmental control system for precision incubation based on embedded systems," *Sensors*, vol. 23, no. 5, pp. 1–15, 2023.