

INKUBATOR TELUR LEOPARD GECKO BERBASIS IOT MENGGUNAKAN BANG-BANG

Ahmad Anwar Saifurridzal^{1*}, Mohammad Idhom², Henni Endah Wahanani³

^{1,3} Informatika, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

³henniendah.if@upnjatim.ac.id

² Sains Data, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

²idhom@upnjatim.ac.id

*Corresponding author email: 21081010011@student.upnjatim.ac.id

Abstrak—Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem inkubator telur Leopard Gecko (*Eublepharis macularius*) berbasis Internet of Things (IoT) dengan metode Bang-Bang Control sebagai pengendali suhu otomatis. Sistem ini berfungsi menjaga kestabilan suhu dan kelembapan selama proses inkubasi, yang menjadi faktor penting dalam keberhasilan penetasan telur reptil. Komponen utama meliputi mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, modul relay 5V, modul pendingin Peltier, kipas DC, dan platform Blynk Cloud untuk pemantauan suhu secara real-time melalui jaringan internet. Metode Bang-Bang mengatur sistem pendingin dengan logika on-off, di mana relay aktif ketika suhu melebihi batas atas dan mati saat suhu di bawah batas bawah. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mempertahankan suhu pada rentang 26–28°C, yang merupakan suhu optimal untuk menghasilkan anakan betina dengan waktu penetasan sekitar 45–60 hari. Data suhu berhasil dikirim ke dashboard Blynk dengan akurasi tinggi. Anakan yang menetas tampak sehat dan normal, membuktikan bahwa sistem inkubasi otomatis berbasis IoT dengan metode Bang-Bang bekerja efektif, efisien, dan dapat dipantau jarak jauh.

Kata Kunci—Inkubator Telur, Leopard Gecko (*Eublepharis macularius*), Internet of Things (IoT), Bang-Bang Control, dan ESP32

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi modern telah membawa kemajuan signifikan dalam bidang peternakan dan budidaya reptil. Salah satu inovasi penting adalah inkubator telur otomatis berbasis IoT, yang mampu meniru kondisi alami penetasan dengan menjaga kestabilan suhu dan kelembapan secara real-time. Teknologi ini meningkatkan efisiensi penetasan dibanding metode konvensional yang bergantung pada induk hewan.[1] Leopard Gecko (*Eublepharis macularius*) merupakan reptil yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai ekonomi tinggi. Keberhasilan penetasan telur sangat dipengaruhi suhu dan kelembapan, dengan rentang optimal 26°C–32°C. Penyimpangan suhu dapat menyebabkan kegagalan penetasan atau kelainan embrio[2]. Namun, fluktuasi suhu akibat perubahan cuaca sering menjadi kendala bagi peternak. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendali suhu otomatis yang

stabil dan mudah dipantau untuk menjaga kondisi inkubasi tetap ideal.

Penerapan Internet of Things (IoT) memungkinkan pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time melalui perangkat seluler. Teknologi ini memudahkan peternak dalam mengontrol inkubator dari jarak jauh dan meminimalkan risiko kegagalan penetasan.[3] Untuk mengatur suhu secara efisien, digunakan metode Bang-Bang, yaitu sistem kontrol on-off sederhana yang mengaktifkan pemanas ketika suhu di bawah batas bawah dan mematikannya saat suhu melewati batas atas. Bang-Bang control merupakan strategi pengendalian dengan aksi ekstrem (maksimum atau minimum) yang terbukti optimal pada sistem dengan respon cepat dan efisien tanpa memerlukan algoritma kompleks.[4] Sistem ini menggunakan umpan balik diskrit yang menyerupai kontrol proporsional saat deviasi kecil, namun beralih ke mode bang-bang ketika deviasi besar untuk mencapai kestabilan optimal.[5]

Sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penerapan sistem IoT pada inkubator unggas seperti ayam atau bebek, sedangkan penerapannya pada reptil khususnya Leopard Gecko masih sangat terbatas. Padahal, karakteristik biologis telur reptil berbeda dari unggas, terutama dalam sensitivitas suhu terhadap rasio jenis kelamin dan keberhasilan embrio. Selain itu, sistem kontrol yang digunakan pada penelitian terdahulu umumnya masih berbasis algoritma PID yang lebih kompleks dan membutuhkan biaya tinggi untuk implementasi skala kecil. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan baru berupa kombinasi metode Bang-Bang dengan sistem IoT berbasis NodeMCU dan sensor DHT22. Sistem ini dirancang untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan inkubator Leopard Gecko secara otomatis, hemat energi, serta dapat dimonitor melalui perangkat seluler. Keterbaruan penelitian ini terletak pada penerapan metode Bang-Bang yang disesuaikan dengan karakteristik fisiologi telur reptil, sehingga diharapkan mampu meningkatkan tingkat keberhasilan penetasan serta memberikan solusi praktis bagi peternak reptil skala kecil.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem kontrol suhu dan kelembapan yang stabil menggunakan metode Bang-Bang untuk proses inkubasi telur Leopard Gecko?

2. Bagaimana mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) agar sistem dapat dipantau dan dikontrol secara real-time?
3. Apakah sistem ini mampu menjaga akurasi suhu dan kelembapan guna meningkatkan tingkat keberhasilan penetasan dan rasio jenis kelamin yang diinginkan?

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Inkubator Telur Otomatis

Inkubator merupakan alat yang digunakan untuk menciptakan kondisi lingkungan optimal bagi perkembangan embrio dengan menjaga suhu dan kelembapan tetap stabil. Dalam dunia peternakan, inkubator berfungsi menggantikan peran induk dalam proses penetasan, terutama untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi risiko kegagalan penetasan. Komponen utama inkubator meliputi elemen pemanas, sensor suhu dan kelembapan, sistem kontrol, serta wadah telur yang didesain agar distribusi panas merata.[5]

B. Leopard Gecko (*Eublepharis macularius*)

Leopard Gecko merupakan spesies reptil yang berasal dari Asia Selatan dan banyak dibudidayakan karena karakteristik morfologi unik. Suhu inkubasi pada kisaran 26°C–32°C berpengaruh terhadap rasio jenis kelamin,[6] yang di mana suhu rendah cenderung menghasilkan betina, sementara suhu tinggi menghasilkan jantan. Karena itu, pengendalian suhu dan kelembapan yang akurat menjadi kunci keberhasilan dalam penetasan telur.[7]

C. Internet Of Things

Internet of Things adalah konsep integrasi perangkat elektronik yang dapat saling berkomunikasi melalui jaringan internet.[8] Dalam konteks inkubator, IoT memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol parameter suhu dan kelembapan secara real-time melalui aplikasi mobile. Komponen utama sistem IoT biasanya meliputi mikrokontroler (misalnya NodeMCU ESP8266), sensor (DHT22 untuk suhu dan kelembapan), aktuator (relay, peltier, dan kipas). [9]

D. Bang-Bang Control

Metode Bang-Bang adalah strategi pengendalian *on-off* yang menghasilkan aksi kontrol maksimum atau minimum berdasarkan nilai ambang tertentu.[10] Ketika suhu turun di bawah batas bawah, sistem akan menyalakan pemanas, dan ketika suhu melebihi batas atas, sistem mematikannya.[11]

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen rekayasa (experimental research) yang bertujuan merancang, membuat, dan menguji sistem inkubator telur Leopard Gecko berbasis IoT

menggunakan metode Bang-Bang Control sebagai pengendali suhu dan kelembapan otomatis.

A. Alat dan Bahan



Gambar 1 Alat yang digunakan

Gambar 1 menampilkan rangkaian komponen utama yang digunakan dalam sistem inkubator telur Leopard Gecko berbasis IoT. Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi mengontrol dan mengirim data ke platform IoT melalui koneksi Wi-Fi, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan di dalam inkubator, serta modul relay yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengatur kerja Peltier (sebagai elemen pendingin/pemanas) dan kipas 12V (untuk sirkulasi udara). Semua komponen memperoleh daya dari power supply 12V, sedangkan kabel jumper digunakan sebagai penghubung antar-komponen. Seluruh sistem nantinya akan ditempatkan dalam box styrofoam sebagai wadah isolasi termal agar suhu dan kelembapan tetap stabil.

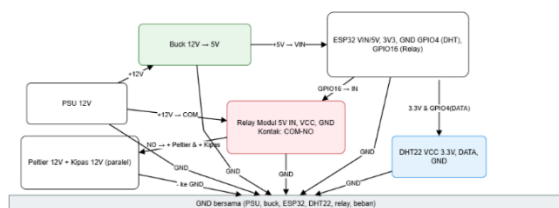
Untuk pemrograman dan pengendalian sistem, digunakan perangkat lunak Arduino IDE sebagai platform coding dan upload program ke ESP32.

Sementara itu, bahan uji berupa telur Leopard Gecko yang digunakan dalam proses pengujian alat bisa dilihat pada gambar 5. Telur ini diletakkan di dalam inkubator dengan kondisi suhu dan kelembapan terkontrol untuk memastikan lingkungan yang optimal bagi proses perkembangan embrio. Penggunaan telur Leopard Gecko sebagai bahan uji bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem inkubasi otomatis dalam mempertahankan parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap tingkat keberhasilan penetasan dan penentuan jenis kelamin hasil penetasan.

B. Skema Rangkaian

Gambar 2 di atas menjelaskan skema rangkaian sistem inkubator telur Leopard Gecko berbasis IoT. Sumber daya utama berasal dari power supply 12V, yang memiliki dua jalur distribusi utama, yaitu untuk Peltier dan kipas 12V (terhubung secara paralel) serta untuk modul buck converter 12V–5V yang berfungsi menurunkan tegangan menjadi 5V guna menyuplai daya ke ESP32 dan modul relay. Modul relay 5V berperan

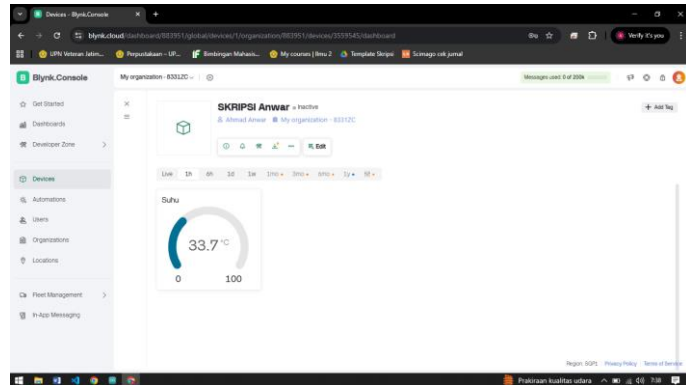
sebagai saklar otomatis yang diatur oleh pin GPIO16 pada ESP32 untuk mengendalikan arus menuju Peltier dan kipas sesuai kondisi suhu di dalam inkubator. Sementara itu, sensor DHT22 terhubung ke pin GPIO4 ESP32 dan berfungsi untuk mengukur suhu serta kelembapan lingkungan di dalam ruang inkubasi, dengan suplai daya 3.3V dari ESP32. Seluruh komponen dihubungkan menggunakan GND bersama agar sistem memiliki referensi tegangan yang seragam dan stabil. Dengan konfigurasi ini, ESP32 dapat secara otomatis mengatur kerja Peltier dan kipas berdasarkan data suhu dan kelembapan yang dibaca sensor, sehingga kondisi inkubasi tetap optimal bagi perkembangan telur Leopard Gecko.



Gambar 2 Skema Alat

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini disajikan hasil implementasi sistem IoT pemantau suhu menggunakan sensor DHT22 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 serta platform Blynk Cloud sebagai media monitoring jarak jauh.



Gambar 3 Tampilan Blynk

Tampilan pada gambar 3 menunjukkan antarmuka dashboard Blynk yang menampilkan data suhu secara real-time. Nilai suhu yang terbaca ditransmisikan melalui koneksi internet dan divisualisasikan dalam bentuk indikator gauge, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau perubahan suhu lingkungan.

Hasil ini menjadi bukti bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam mendeteksi suhu dan mengirimkan data ke server cloud secara otomatis. Melalui fitur pemantauan daring pada Blynk, pengguna dapat mengawasi kondisi suhu ruangan atau wadah uji dari mana saja dan kapan saja. Dengan demikian, pengujian

ini menunjukkan bahwa rancangan sistem berbasis ESP32, DHT22, dan Blynk IoT mampu berfungsi sesuai tujuan, yaitu memberikan informasi suhu secara cepat, akurat, dan efisien dalam mendukung proses pengendalian suhu otomatis.



Gambar 4 Rangkaian Alat

Gambar 4 memperlihatkan rangkaian alat sistem pengendali suhu otomatis berbasis IoT yang telah dirakit secara keseluruhan. Komponen utama yang tampak meliputi mikrokontroler ESP32, modul relay 5V, sensor suhu DHT22, modul catu daya (PSU 12V), serta beban pendingin berupa modul Peltier dan kipas DC yang terpasang pada wadah uji. PSU 12 volt berfungsi sebagai sumber daya utama yang menyuplai tegangan untuk seluruh rangkaian. Tegangan ini dialirkan ke modul buck converter untuk diturunkan menjadi 5 volt sebagai suplai ESP32 dan modul relay, sementara jalur 12 volt langsung digunakan untuk menghidupkan Peltier dan kipas melalui kontrol relay.

Rangkaian ini bekerja dengan prinsip sistem bang-bang, di mana ESP32 membaca suhu dari sensor DHT22 dan mengaktifkan atau menonaktifkan relay sesuai batas suhu yang telah ditentukan. Ketika suhu melebihi batas atas, relay akan menutup sirkuit sehingga Peltier dan kipas menyala untuk menurunkan suhu. Sebaliknya, jika suhu berada di bawah ambang batas bawah, relay terbuka dan beban berhenti bekerja. Keseluruhan sistem ini dirancang untuk menjaga suhu tetap stabil secara otomatis, serta dapat diintegrasikan dengan platform Blynk IoT untuk pemantauan jarak jauh melalui jaringan internet.

Kode Program:

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6_ne1qrrQ"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "SKRIPSI Anwar"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN
"5ajyOaBmanStWibe9N3mHm5Dgc_bA721"
```

```
// ===== LIBRARY =====
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include "DHT.h"

char ssid[] = "resmi";
char pass[] = "anwar003";

// === Konfigurasi DHT22 ===
#define DHTPIN 4 // Pin data sensor ke GPIO4 ESP32
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// === Konfigurasi pin relay ===
#define RELAY_PIN 16 // Pin relay ke GPIO5 ESP32

// === Batas suhu kontrol (Bang-Bang) ===
float batasAtas = 27.0; // Suhu di atas ini -> Peltier + kipas ON
float batasBawah = 26.0; // Suhu di bawah ini -> Peltier + kipas OFF
bool relayState = false; // Status relay

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
  // Mulai koneksi ke Blynk
  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);

  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Awal relay OFF
  Serial.println("=== Sistem Pendingin Otomatis Bang-Bang ===");
  delay(2000);
}

void loop() {
  // Baca data suhu dan kelembaban dari DHT22
  float suhu = dht.readTemperature();
  float kelembaban = dht.readHumidity();

  // Cek apakah pembacaan berhasil
  if (isnan(suhu) || isnan(kelembaban)) {
    Serial.println("Gagal membaca data dari sensor DHT22!");
    delay(2000);
    return;
  }

  // === Logika Bang-Bang ===
```

```
if (suhu > batasAtas) {
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Relay ON → aktifkan Peltier & kipas
  relayState = true;
}
else if (suhu <= batasBawah) {
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Relay OFF → matikan Peltier & kipas
  relayState = false;
}

// === Tampilkan hasil di Serial Monitor ===
Serial.print("Suhu: ");
Serial.print(suhu);
Serial.print(" °C | Kelembaban: ");
Serial.print(kelembaban);
Serial.print(" % | Pendingin: ");
Serial.println(relayState ? "ON" : "OFF");

Blynk.virtualWrite(V0, suhu);

delay(2000); // jeda 2 detik
}
```

Objek Penelitian :



Gambar 5 Telur Leopard Gecko

Gambar 5 memperlihatkan telur Leopard Gecko (*Eublepharis macularius*) yang dijadikan sebagai objek pengujian dalam sistem inkubasi otomatis berbasis IoT. Telur-telur tersebut ditempatkan dalam wadah plastik transparan sebagai media inkubasi awal sebelum dimasukkan ke dalam inkubator otomatis yang telah dilengkapi sensor suhu dan kelembaban. Telur Leopard Gecko berbentuk oval dengan ukuran kecil serta memiliki permukaan bercorak khas.

Pada penelitian ini digunakan telur fertil (terbuahi) agar proses pengujian dapat merepresentasikan kondisi biologis yang sebenarnya selama masa inkubasi. Telur fertil dipilih karena memiliki potensi untuk menetas apabila dijaga pada kondisi lingkungan yang sesuai. Proses inkubasi dikendalikan oleh sistem ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22 serta dapat dipantau melalui platform Blynk IoT untuk memastikan suhu dan kelembaban tetap stabil.

TABEL 1 SUHU INKUBATOR

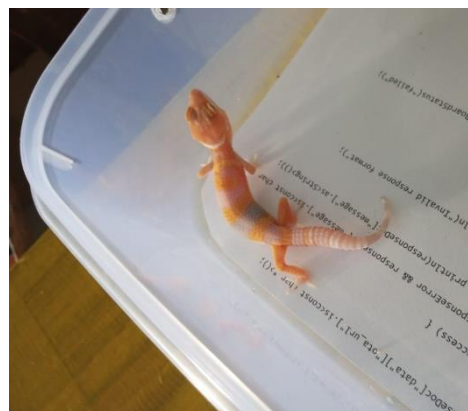
Hari ke-	00.00	04.00	08.00	12.00	16.00	20.00	Rata-rata (°C)
1	26.6	26.8	27.0	27.3	27.5	27.2	27.1
2	26.5	26.7	27.1	27.4	27.6	27.3	27.1
3	26.4	26.6	27.0	27.2	27.4	27.1	26.9
4	26.7	26.9	27.3	27.5	27.6	27.3	27.2
5	26.6	26.8	27.2	27.5	27.7	27.4	27.2
10	26.5	26.8	27.0	27.2	27.5	27.1	27.0
15	26.6	26.9	27.2	27.3	27.4	27.0	27.1
20	26.7	26.9	27.3	27.4	27.5	27.2	27.2
25	26.6	26.8	27.1	27.3	27.4	27.2	27.1
30	26.5	26.8	27.0	27.2	27.5	27.1	27.0
35	26.7	26.9	27.2	27.4	27.6	27.3	27.2
40	26.6	26.8	27.0	27.3	27.5	27.2	27.1
45	26.5	26.7	27.1	27.4	27.6	27.2	27.1
50	26.4	26.6	27.0	27.3	27.5	27.1	27.0

Tabel 1 menunjukkan data suhu inkubator selama 50 hari masa inkubasi yang menghasilkan anakan Leopard Gecko (*Eublepharis macularius*). Data diambil enam kali setiap hari pada rentang waktu tetap (00.00, 04.00, 08.00, 12.00, 16.00, dan 20.00) untuk memantau kestabilan suhu di dalam inkubator. Dalam konteks biologis, suhu inkubasi memiliki peranan penting dalam menentukan jenis kelamin anakan Leopard Gecko.

Berdasarkan literatur herpetologi, inkubasi pada suhu 26–28°C cenderung menghasilkan anak betina, dengan masa inkubasi berkisar antara 45 hingga 60 hari, tergantung pada kestabilan suhu dan kelembapan selama proses penetasan. Oleh karena itu, sistem ini dirancang untuk mempertahankan suhu dalam rentang optimal tersebut guna mendukung pembentukan embrio betina secara efektif dan aman hingga masa penetasan tiba.

Gambar 6 menunjukkan hasil anakan Leopard Gecko (*Eublepharis macularius*) yang berhasil menetas dari sistem inkubator otomatis berbasis IoT. Keberhasilan penetasan ini menjadi bukti bahwa sistem inkubasi yang dirancang mampu bekerja secara efektif dalam mempertahankan kondisi lingkungan yang dibutuhkan oleh embrio Leopard Gecko hingga mencapai tahap menetas. Anakan yang dihasilkan tampak sehat, memiliki warna tubuh cerah dengan pola khas, serta menunjukkan respons gerak yang baik. Hasil ini menegaskan bahwa penerapan sistem kontrol suhu otomatis

berbasis IoT dapat menjadi solusi inovatif untuk mendukung proses penetasan reptil secara efisien, stabil, dan dapat dimonitor dari jarak jauh.



Gambar 6 Anakan Leopard Gecko Hasil Inkubator

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem inkubator telur Leopard Gecko berbasis IoT menggunakan metode Bang-Bang telah berhasil dibuat dan berfungsi sesuai rancangan. Sistem mampu mengontrol suhu secara otomatis dalam kisaran 26–28°C, yang merupakan kondisi ideal untuk menghasilkan anakan betina. Penggunaan sensor DHT22 dan mikrokontroler ESP32 memungkinkan pembacaan serta pengiriman data suhu dan kelembapan ke Blynk Cloud secara real-time, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dari jarak jauh melalui perangkat seluler.

Selain itu, penerapan metode Bang-Bang terbukti efektif dalam menjaga kestabilan suhu tanpa memerlukan algoritma kompleks. Waktu penetasan telur fertil mencapai sekitar 45–60 hari, dan anakan yang dihasilkan menunjukkan kondisi fisik yang sehat serta aktif. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi alternatif yang efisien untuk proses inkubasi telur reptil, khususnya Leopard Gecko, sekaligus memberikan kontribusi nyata terhadap penerapan teknologi IoT dalam bidang peternakan dan bioteknologi reptil.

REFERENSI

- [1] D. Upaya Peningkatan Usaha Peternakan Ayam Di Desa Oelbubuk, K. Molo Tengah, K. S. Timor Tengah Selatan Jefri Bale, B. V Tarigan, R. N. Selan, and R. H. Modok, "Penerapan Inkubator Penetas Telur Ayam Secara Otomatis Berbasis Internet Of Things (Iot)," *J. Hum. Educ.*, vol. 3, no. 4, pp. 386–390, 2023.
- [2] B. E. Viets, A. Tousignant, M. A. Ewert, C. E. Nelson, and D. Crews, "Temperature-dependent sex determination in the leopard gecko, *Eublepharis macularius*," *J. Exp. Zool.*, vol. 265, no. 6, pp. 679–683, 1993, doi: 10.1002/jez.1402650610.
- [3] A. P. Putra and J. Suwarno, "Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembapan Untuk Kandang Reptile Berbasis IOT Dengan Platform Blynk," *Sci. Sacra J. Sains*, vol. 2, no. 4, 2022.
- [4] T. Seyde *et al.*, "Is Bang-Bang Control All You Need? Solving Continuous Control with Bernoulli Policies," *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*,

vol. 32, no. NeurIPS, pp. 27209–27221, 2021.

[5] O. Khamisov, I. Idrisov, and S. Vasilev, “Application of bang-bang control for frequency control in grids with high number of power electronics devices,” *E3S Web Conf.*, vol. 461, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202346101050.

[6] T. Rhen and D. Crews, “Embryonic temperature and gonadal sex organize male-typical sexual and aggressive behavior in a lizard with temperature-dependent sex determination,” *Endocrinology*, vol. 140, no. 10, pp. 4501–4508, 1999, doi: 10.1210/endo.140.10.7083.

[7] M. M. Pallotta, C. Fogliano, and R. Carotenuto, “Temperature Incubation Influences Gonadal Gene Expression during Leopard Gecko Development,” *Animals*, vol. 12, no. 22, 2022, doi: 10.3390/ani12223186.

[8] *et al.*, “Design and Development of an IoT-Based Intelligent Incubator,” *Eng. Technol. J.*, vol. 9, no. 01, pp. 3396–3401, 2024, doi: 10.47191/etj/v9i01.21.

[9] J. Tremblay *et al.*, “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title,” *Educ. e Soc.*, vol. 1, no. 1, pp. 1689–1699, 2016, doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14348.63368>.

[10] A. Ryniecki, “Basics of Process Control: the On-Off Control System,” *Przem. Spożywczy*, vol. 1, no. 11, pp. 28–31, 2015, doi: 10.15199/65.2015.11.6.

[11] C. Si, Z. Wang, P. Ju, and H. Wu, “A bang-bang control based water-loop heat pump load aggregation method for power levelling dispatch,” *IET Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 321–333, 2021, doi: 10.1049/stg2.12031.