

SIMULASI PENGENDALIAN SUHU PADA INKUBATOR PENETASAN TELUR AYAM MENGGUNAKAN ARDUINO BERBASIS PID

Fahturomi Anjar Septian^{1*}, Ahmad Muhammad Taqiy Almy², Muhammad Naufal Nashir³, Tatyantoro Andrasto⁴

^{1,2,3,4}Teknik Komputer, Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang, Sekaran, Gunung Pati, Kota Semarang, 50229.

Keywords:

Inkubator Penetasan Telur Ayam, Kontrol PID, Arduino Uno, Kontrol ON/OFF, Pengendali Suhu Otomatis

Correspondent Email:

anjargaming06@students.unnes.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem pengendalian suhu otomatis pada inkubator penetasan telur ayam menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan algoritma *Proportional Integral Derivative* (PID). Sistem ini dikembangkan sebagai alternatif dari metode kontrol *ON/OFF* yang masih umum digunakan, namun menghasilkan fluktuasi suhu tinggi dan efisiensi energi rendah. Rangkaian sistem terdiri atas sensor suhu LM35, relay sebagai aktuator, dan lampu pijar sebagai elemen pemanas. Simulasi dilakukan dengan membandingkan kinerja sistem antara kontrol PID dan *ON/OFF* dalam menjaga suhu pada *setpoint* 38°C. Penalaan parameter PID dilakukan menggunakan metode Ziegler-Nichols tipe *ultimate gain*, yang menghasilkan nilai $K_p = 18$, $K_i = 1,5$, dan $K_d = 4$. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol PID mampu memberikan respon suhu yang lebih cepat, stabil, dan efisien, dengan *overshoot* dan fluktuasi yang minimal. Sebaliknya, kontrol *ON/OFF* menunjukkan osilasi suhu periodik dan konsumsi daya lebih tinggi karena frekuensi *switching* yang intensif. Meskipun penelitian ini masih berbasis simulasi, rancangan sistem menunjukkan potensi untuk diterapkan pada inkubator berskala kecil yang membutuhkan kestabilan suhu tinggi dengan komponen yang sederhana dan biaya implementasi yang rendah.

Abstract. This study aims to design and simulate an automatic temperature control system for a chicken egg incubator using an Arduino Uno microcontroller and a *Proportional Integral Derivative* (PID) algorithm. The system is developed as an alternative to the commonly used *ON/OFF* control method, which still results in high temperature fluctuations and low energy efficiency. The system circuit consists of an LM35 temperature sensor, a relay as the actuator, and an incandescent lamp as the heating element. The simulation compares the performance of the PID control system and the *ON/OFF* control system in maintaining a *setpoint* temperature of 38°C. PID parameter tuning was performed using the Ziegler-Nichols ultimate gain method, resulting in values of $K_p = 18$, $K_i = 1.5$, and $K_d = 4$. Simulation results show that the PID control provides a faster, more stable, and efficient temperature response, with minimal overshoot and fluctuation. In contrast, the *ON/OFF* control exhibits periodic temperature oscillations and higher power consumption due to intensive switching frequency. Although this study is still based on simulation, the system design demonstrates potential for application in small-scale incubators that require high temperature stability with simple components and low implementation costs.

1. PENDAHULUAN

Inkubator telur ayam merupakan alat yang sangat penting dalam industri peternakan, terutama untuk memastikan suhu dan kelembaban yang optimal untuk perkembangan embrio. Keberhasilan penetasan telur sangat bergantung pada pengaturan suhu yang tepat, karena suhu yang tidak stabil dapat mengganggu perkembangan embrio dan menurunkan tingkat keberhasilan penetasan telur. Secara umum, suhu ideal dalam inkubator telur ayam berkisar antara 37 - 38°C [1]. Oleh karena itu, pengendalian suhu yang akurat dan stabil sangat diperlukan untuk meningkatkan hasil penetasan telur serta efisiensi operasional peternakan [2].

Sistem pengendalian suhu yang umum digunakan pada inkubator adalah sistem kontrol berbasis *ON/OFF*. Meskipun banyak digunakan, sistem ini sering menyebabkan suhu yang signifikan. Fluktuasi suhu ini dapat fluktuasi berdampak negatif terhadap perkembangan embrio, yang akhirnya mempengaruhi keberhasilan penetasan telur [3]. Untuk mengatasi masalah ini, teknologi *Proportional Integral Derivative* (PID) menawarkan solusi yang lebih presisi dengan mengurangi fluktuasi suhu, menjadikannya lebih stabil dan sesuai untuk inkubator telur ayam [4][5].

Dalam rangka membuat sistem pengendalian suhu yang lebih efisien dan terjangkau, penggunaan mikrokontroler Arduino menjadi pilihan yang ideal. Dengan harga yang relatif rendah, Arduino Uno bersama dengan sensor suhu seperti LM35 memungkinkan peternak kecil untuk mengimplementasikan sistem pengendalian suhu otomatis dengan biaya yang lebih terjangkau [6][7]. Namun, meskipun banyak penelitian yang mengembangkan sistem kontrol suhu inkubator menggunakan PID dan mikrokontroler, sebagian besar penelitian ini masih berfokus pada implementasi di peternakan skala besar, dengan perangkat yang lebih mahal dan sulit diakses oleh peternak kecil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pengaturan suhu otomatis pada inkubator telur ayam menggunakan kontrol PID berbasis mikrokontroler Arduino, yang lebih efisien dan terjangkau. Penelitian ini juga akan

mengeksplorasi bagaimana teknologi PID dapat diimplementasikan dalam sistem inkubator telur ayam untuk menghasilkan kontrol suhu yang lebih stabil, sehingga dapat meningkatkan keberhasilan penetasan telur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PID Controller

PID adalah salah satu algoritma kontrol yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan sistem otomatis. PID bekerja dengan menghitung *error* sebagai selisih antara nilai *set point* dan nilai aktual, kemudian disesuaikan *output* sistemnya berdasarkan konstanta proporsional (K_p), Integral (K_i), dan derivatif (K_d) untuk menghasilkan respon sistem yang cepat dan stabil. Dalam konteks inkubator, PID digunakan untuk menjaga kestabilan suhu dalam rentang optimal penetasan telur, yaitu sekitar 37 - 38°C, dengan parameter tuning yang tepat dapat meminimalkan *overshoot* dan *error steady-state* [8][9]. Selain perancangan sistem ini dilakukan berbasis simulasi, juga memungkinkan dilakukan tuning parameter PID untuk bisa diterapkan pada perangkat keras [10].

2.2. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah mikrokontroler berbasis *chip* Atmega328P yang banyak digunakan sebagai *platform* prototipe dalam pengembangan rangkaian elektronika. Penggunaan Arduino Uno mempermudah proses perancangan dan perakitan sistem elektronik dibandingkan dengan penyusunan rangkaian menggunakan Atmega328P secara langsung [11].

Perangkat ini dilengkapi dengan 14 pin *input/output* digital, 6 pin PWM, 6 *output* analog, serta osilator kristal dengan frekuensi 16 MHz. Selain itu, Arduino Uno juga memiliki jack 12V untuk daya, koneksi USB untuk pemrograman dan komunikasi, serta tombol reset untuk memulai ulang sistem [12]. Dalam proyek inkubator telur ayam, Arduino Uno digunakan untuk mengontrol suhu secara otomatis dengan mengolah input dari sensor suhu (seperti LM35) dan mengatur *output* ke perangkat lainnya seperti lampu pemanas.

Dalam proyek inkubator, Arduino Uno berperan sebagai pengontrol utama yang

memproses data dari sensor suhu dan mengatur kinerja relay serta aktuator lainnya [13]. Kemudian lampu pijar dipilih sebagai elemen pemanas karena dapat menghasilkan panas yang cukup stabil dan mudah dikendalikan oleh sistem. Penggunaan lampu pijar juga bisa menekan biaya produksi alat, membuatnya menjadi solusi yang tepat untuk peternak kecil dengan keterbatasan dana.

2.3. Sensor LM-35

LM35 adalah sebuah IC sensor suhu yang memiliki tingkat akurasi tinggi, dengan output tegangan yang bersifat linear terhadap suhu dalam satuan derajat Celcius. Setiap kenaikan suhu sebesar 1°C akan menghasilkan peningkatan tegangan sebesar 10 mV. Sensor ini tidak memerlukan kalibrasi eksternal dan mampu memberikan akurasi hingga $\pm \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ pada suhu ruangan [14]. Dalam banyak penelitian, LM35 digunakan untuk memantau suhu inkubator dan memberikan umpan balik ke sistem kontrol untuk menjaga suhu dalam rentang optimal penetasan [7][8].

2.4. LCD 16x2

Pada perancangan sistem ini, LCD 16x2 digunakan sebagai modul tampilan dalam sistem mikrokontroler untuk menampilkan informasi misalnya suhu, waktu, atau status dari sistem. Modul ini mampu menampilkan dua baris teks masing-masing hingga 16 karakter dan bisa diintegrasikan paralel dengan Arduino. Dalam sistem inkubator ini, LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan suhu *real-time* secara langsung kepada pengguna [15].

LCD digunakan dalam proyek ini untuk menampilkan suhu dalam waktu nyata, memberikan umpan balik langsung kepada pengguna. Integrasi LCD 16x2 dengan mikrokontroler dilakukan melalui komunikasi paralel atau serial menggunakan pustaka LCD pada Arduino IDE [16][17].

2.5. Relay

Relay merupakan saklar elektronik yang dikendalikan dengan arus listrik bertegangan rendah untuk menghubungkan atau memutuskan arus tegangan tinggi. Dalam inkubator telur, relay digunakan untuk mengontrol nyala atau mati lampu pemanas sebagai sumber panas utama. Arduino mengirimkan sinyal digital ke

relay, yang kemudian mengatur kerja pemanas secara otomatis berdasarkan output kontrol PID [7]. Pemanfaatan relay memberikan fleksibilitas dan keamanan dalam pengaturan suhu inkubator. Dalam sistem inkubator, relay bekerja secara otomatis berdasarkan sinyal dari mikrokontroler untuk menyalakan atau mematikan pemanas [16].

2.6. Resistor

Resistor adalah komponen elektronika pasif yang digunakan untuk membatasi arus listrik dan mengatur tegangan dalam suatu rangkaian. Dalam sistem inkubator berbasis mikrokontroler, resistor digunakan untuk melindungi LED, mengatur sinyal pada pin *input/output*, serta mengatur kerja relay atau sensor [16].

Susunan resistor secara seri atau paralel mempengaruhi daya dan arus yang mengalir pada sistem. Pada rangkaian paralel, semakin banyak resistor yang ditambahkan, daya listrik yang terserap meningkat, sedangkan pada rangkaian seri, daya yang terserap justru menurun seiring bertambahnya jumlah resistor. Prinsip ini penting untuk merancang rangkaian elektronik yang efisien dan aman [18].

2.7 Lampu Pijar sebagai Sumber Pemanas

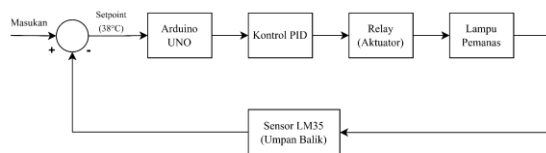
Lampu pijar digunakan sebagai elemen pemanas utama dalam inkubator karena kemampuannya menghasilkan panas secara merata. Panas dihasilkan dari filamen yang terbuat dari wolfram, yaitu logam dengan titik leleh sangat tinggi (sekitar 3.422°C), sehingga mampu berpijar dan menghasilkan panas tanpa mudah meleleh. Lampu ini kemudian dikendalikan dengan mikrokontroler melalui relay dan diaktifkan otomatis berdasarkan sinyal dari kontrol PID sesuai dengan kondisi suhu inkubator [19].

Penggunaan lampu pijar dinilai efektif untuk inkubator skala kecil. Penelitian oleh Attaqiroh dkk. (2023) menunjukkan bahwa lampu pijar yang dikendalikan dengan PID mampu menjaga suhu agar tetap stabil dengan *error steady-state* hanya 0.2%, menjadikannya solusi pemanas yang terpercaya pada sistem inkubator berbasis Arduino [20].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Simulasi Perancangan Sistem

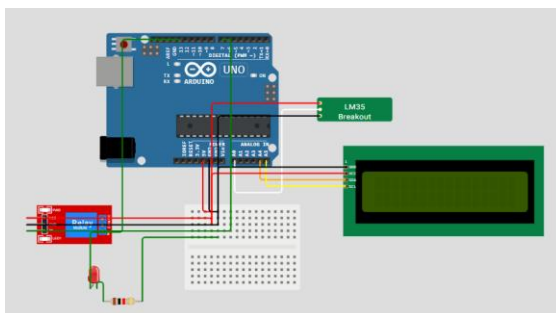
Blok Diagram pada sistem inkubator penetasan telur ayam berbasis kontrol PID dengan menggunakan sensor LM35, ditampilkan pada gambar 1:



Gambar 1 Diagram Blok Perancangan Sistem Inkubator Penetasan Telur Ayam

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem pengendalian suhu inkubator berbasis Arduino Uno menggunakan algoritma PID. Sistem bekerja secara closed-loop, di mana suhu setpoint (38°C) dibandingkan dengan suhu aktual dari sensor LM35. Sinyal error yang dihasilkan diproses oleh Arduino untuk mengatur relay, yang mengendalikan daya ke lampu pijar sebagai elemen pemanas. Sensor LM35 memberikan umpan balik suhu secara kontinu, memungkinkan sistem mempertahankan kestabilan suhu.

Simulasi sistem dilakukan untuk menguji alur kerja perangkat sebelum implementasi fisik. Arduino Uno mengolah data dari sensor LM35 yang terhubung ke pin analog, serta mengendalikan relay untuk mengaktifkan lampu pijar sebagai pemanas utama. Sistem ini dirancang untuk menjaga suhu inkubator secara otomatis dalam kisaran optimal $37\text{--}38^{\circ}\text{C}$. Informasi suhu ditampilkan secara real-time melalui LCD, memberikan umpan balik langsung kepada pengguna. Seluruh komponen disusun dalam rangkaian simulasi guna memastikan fungsionalitas sistem. Gambar 2 memperlihatkan konfigurasi rangkaian yang menghubungkan sensor LM35, Arduino Uno, relay, dan lampu pijar dalam sistem inkubator.



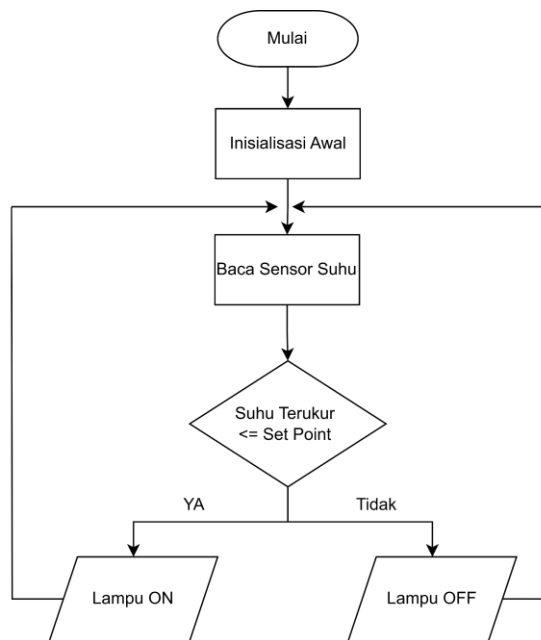
Gambar 2. Simulasi Rangkaian Inkubator Penetasan Telur Ayam

3.2. Program pada Arduino

Pengkodean pada mikrokontroler Arduino Uno dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman C yang disederhanakan, memanfaatkan pustaka-pustaka Arduino. Program ini berfungsi untuk membaca data suhu dari sensor LM35, menampilkan suhu pada LCD, serta mengendalikan perangkat eksternal seperti lampu pemanas menggunakan relay. Sistem dirancang untuk menstabilkan suhu inkubator, sehingga jika suhu melebihi 38°C , lampu pemanas mati namun jika suhu kurang dari 38°C lampu pemanas akan menyala. Gambar 3 merupakan contoh program Arduino yang digunakan untuk sistem pengendalian suhu pada inkubator penetasan telur Ayam. Selanjutnya, gambar 4 memperlihatkan diagram alir inkubator penetasan pada telur ayam

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <PID_v1.h>
int sensorPin = A0;
int ledPin = 13;
int relay = 7;
double setpoint = 38.0;
double input, output;
double Kp = 2, Ki = 5, Kd = 1;
PID myPID(&input, &output, &setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}
void loop() {
  input = analogRead(sensorPin);
  input = (input * 5.0 / 1024.0) * 100.0;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Suhu: ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(input);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C");
  myPID.Compute();
  if (input <= setpoint) {
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    digitalWrite(relay, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    digitalWrite(relay, LOW);
  }
  delay(1000);
}
```

Gambar 3 Program Arduino Pengendalian Suhu pada Inkubator Penetasan Telur Ayam



Gambar 4 Diagram Alir Inkubator Penetasan pada Telur Ayam

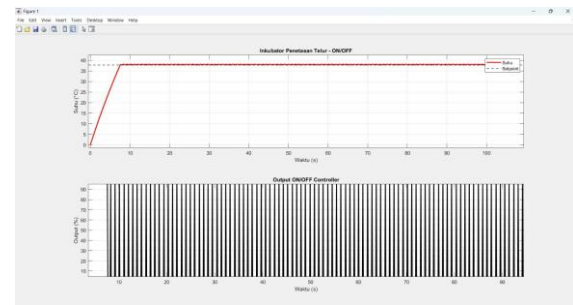
3.3. Tuning Kontrol PID

Tuning kontrol PID pada sistem dilakukan menggunakan metode Ziegler-Nichols tipe *ultimate gain*. Melalui pengujian, diperoleh parameter kontrol $K_p = 18$, $K_i = 1,5$, dan $K_d = 4$. Nilai-nilai ini dipilih untuk menghasilkan respons sistem yang cepat terhadap perubahan suhu, dengan kestabilan yang tetap terjaga. Parameter K_p memberikan respons awal yang agresif, K_i memperbaiki kesalahan steady-state, dan K_d meredam osilasi serta mengurangi overshoot. Penyesuaian dilakukan secara empiris berdasarkan karakteristik dinamik sistem untuk mencapai performa kontrol yang optimal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Percobaan Tanpa PID

Pada bagian ini dilakukan percobaan tanpa menggunakan kontrol PID. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk melihat bagaimana sistem inkubator merespon perubahan suhu apabila hanya dikendalikan menggunakan logika sederhana, yaitu kontrol ON/OFF. Hasil respon sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 5.



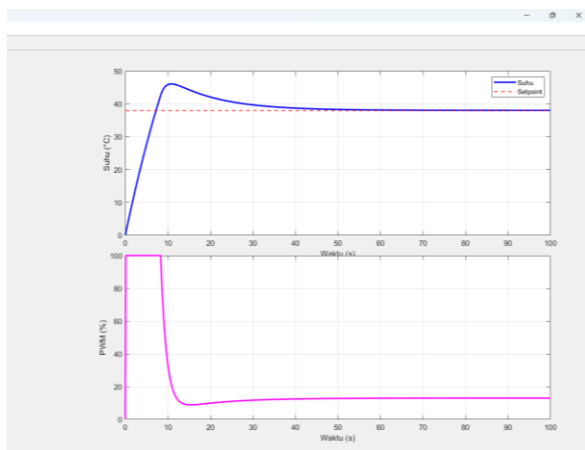
Gambar 5 Respon Suhu dan Sinyal PWM Pada Sistem Tanpa Kontrol PID

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi sistem pengendalian suhu inkubator tanpa menggunakan kontrol PID, melainkan dengan logika ON/OFF sederhana. Setpoint suhu ditetapkan pada 38°C. Dari grafik bagian atas, terlihat bahwa suhu meningkat dengan cepat hingga mencapai setpoint dan kemudian berosilasi secara periodik di sekitar nilai tersebut. Tidak terjadi overshoot besar, tetapi suhu tidak stabil sepenuhnya karena adanya fluktuasi yang disebabkan oleh tidak adanya mekanisme peredam atau penghalus sinyal seperti pada PID. Kenaikan suhu yang cepat menunjukkan sistem memiliki waktu naik (rise time) yang baik, tetapi kestabilan suhu dalam jangka panjang kurang optimal.

Grafik bagian bawah memperlihatkan sinyal kendali (PWM) dari kontrol ON/OFF yang berbentuk pulsa biner. Nilai output berkisar antara 0% dan 100% secara bergantian, dengan frekuensi switching tinggi. Artinya, elemen pemanas sering dinyalakan dan dimatikan dalam waktu singkat untuk menjaga suhu di sekitar setpoint. Meskipun cukup sederhana dan mudah diimplementasikan, kontrol ON/OFF kurang cocok untuk sistem yang memerlukan kestabilan suhu tinggi, seperti inkubator penetasan telur.

4.2. Percobaan Menggunakan PID

Pada bagian ini dilakukan analisis terhadap hasil simulasi sistem kontrol suhu menggunakan metode PID. Tujuan dari pengendalian ini adalah agar suhu dapat mencapai nilai *setpoint* dengan cepat, stabil, dan tanpa osilasi yang berlebihan. Simulasi dilakukan dengan parameter PID yang telah disesuaikan, yaitu $K_p = 18$, $K_i = 1,5$, dan $K_d = 4$, serta setpoint suhu sebesar 38°C. Hasil respon sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Respon Suhu dan Sinyal PWM Pada Sistem Kontrol PID

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi respon sistem kontrol suhu menggunakan metode PID dengan nilai parameter $K_p = 18$, $K_i = 1.5$, dan $K_d = 4$, serta *setpoint* suhu sebesar 38°C . Pada grafik bagian atas Gambar 5, terlihat bahwa suhu awalnya meningkat dengan cepat dari 0°C hingga mencapai sekitar 45°C , yang merupakan *overshoot* dari nilai *setpoint*. Setelah itu, suhu secara bertahap menurun dan mulai stabil mendekati *setpoint* 38°C tanpa mengalami osilasi berulang yang signifikan. Respon ini menunjukkan bahwa sistem memiliki karakteristik *transien* yang cukup baik, dengan waktu naik (*rise time*) yang cepat dan kestabilan akhir yang tercapai dalam waktu relatif singkat. Nilai K_p yang cukup besar memberikan dorongan kuat pada respon awal, sementara nilai K_d membantu meredam lonjakan suhu agar tidak terjadi osilasi yang berlebihan. Nilai K_i yang tidak terlalu besar mencegah akumulasi *error* yang terlalu cepat, menjaga sistem tetap stabil.

Pada grafik bagian bawah Gambar 5, ditampilkan nilai PWM (%) sebagai sinyal kendali yang dikeluarkan oleh kontroler PID untuk mengatur kerja elemen pemanas. Terlihat bahwa pada awal simulasi, nilai PWM berada di 100%, menandakan bahwa sistem memberikan daya penuh untuk memanaskan suhu dengan cepat. Setelah suhu mendekati nilai *setpoint*, PWM secara drastis menurun dan stabil di kisaran 10–15%, cukup untuk mempertahankan suhu tetap konstan di sekitar 38°C . Pola sinyal ini menggambarkan bahwa kontrol PID bekerja secara efisien memberikan dorongan maksimum saat dibutuhkan, lalu mengurangi

daya secara bertahap dan menjaga suhu tanpa fluktuasi berarti. Dengan demikian, hasil pada Gambar 5 menunjukkan bahwa kombinasi parameter PID yang digunakan menghasilkan kinerja sistem yang respon cepat, minim *overshoot*, stabil, dan hemat energi, sesuai dengan tujuan utama sistem kendali suhu.

4.3. Perbandingan Kinerja Sistem Dengan dan Tanpa PID

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, diperoleh perbedaan yang cukup signifikan antara sistem kendali suhu berbasis logika *ON/OFF* dan sistem kendali berbasis Proportional-Integral-Derivative (PID). Kontrol *ON/OFF* bekerja dengan mekanisme sederhana, yakni mengaktifkan elemen pemanas secara penuh ketika suhu berada di bawah nilai *setpoint*, dan mematikannya secara total saat suhu mencapai atau melebihi *setpoint*. Sementara itu, kontrol PID menyesuaikan sinyal kendali secara kontinu berdasarkan nilai *error* (selisih antara suhu aktual dan *setpoint*), laju perubahan *error*, serta akumulasi *error* seiring waktu.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kontrol PID menghasilkan respons suhu yang lebih halus dan stabil. Meskipun terdapat *overshoot* awal yang mencapai sekitar 45°C , sistem mampu dengan cepat meredam lonjakan tersebut dan mempertahankan suhu mendekati *setpoint* 38°C tanpa osilasi berulang yang signifikan. Sebaliknya, sistem *ON/OFF* tidak menampilkan *overshoot* yang mencolok, namun menghasilkan fluktuasi periodik suhu sebesar $\pm 1-2^\circ\text{C}$ di sekitar *setpoint*. Sinyal PWM pada kontrol PID menunjukkan penurunan bertahap dari 100% menjadi sekitar 10–15% untuk mempertahankan suhu, sedangkan pada sistem *ON/OFF*, sinyal PWM bersifat biner (0% atau 100%) dan berubah secara berulang dengan frekuensi yang tinggi. Pola kerja ini menyebabkan konsumsi energi yang lebih besar dan potensi keausan lebih cepat pada komponen pemanas. Tabel 1 menyajikan perbandingan karakteristik utama dari kedua metode pengendalian.

Tabel 1 Perbandingan Kinerja Sistem Kontrol PID dan *ON/OFF*

Aspek	Kontrol PID	Kontrol <i>ON/OFF</i>

Respon awal	Cepat	Cepat
<i>Overshoot</i>	Ada, terendam dengan cepat	Tidak signifikan
Stabilitas akhir	sangat stabil	Kurang stabil
Osilasi	Hampir tidak ada	Terdapat osilasi periodik
Penggunaan energi rata-rata	Lebih rendah	Tinggi
Efisiensi energi	Tinggi	Rendah
Kompleksitas implementasi	Lebih kompleks	Sederhana
Kesesuaian untuk inkubator	Sangat sesuai	Kurang optimal untuk presisi suhu

Hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa kestabilan suhu inkubasi sangat menentukan keberhasilan proses penetasan telur ayam, dimana suhu ideal berada pada rentang 37 – 38°C dengan deviasi yang sangat kecil. Fluktuasi suhu yang signifikan dapat mengganggu perkembangan embrio dan menurunkan tingkat keberhasilan penetasan. Berdasarkan hasil simulasi, sistem kontrol PID mampu menjaga suhu tetap stabil dalam rentang yang sempit serta meningkatkan efisiensi penggunaan energi dibandingkan dengan metode kontrol *ON/OFF*.

5. KESIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pengendalian suhu inkubator berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan implementasi algoritma PID mampu mempertahankan suhu inkubasi dalam rentang optimal 37–38°C secara stabil dan efisien. Sistem ini menunjukkan respons yang presisi terhadap perubahan suhu, dengan fluktuasi yang minimal, sehingga lebih unggul

dibandingkan metode kontrol konvensional berbasis *ON/OFF* yang cenderung menghasilkan osilasi suhu. Selain itu, keunggulan lain dari sistem ini mencakup biaya implementasi yang rendah, kemudahan dalam proses perakitan, serta ketersediaan komponen yang melimpah di pasaran, menjadikannya solusi yang potensial untuk diterapkan di lingkungan peternakan berskala kecil hingga menengah.

Namun demikian, sistem ini masih memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya adalah terjadinya *overshoot* awal selama proses pemanasan serta belum dilakukannya pengujian langsung pada perangkat fisik nyata. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan integrasi fitur tambahan seperti pengendalian kelembaban, mekanisme rotasi telur otomatis, serta pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) guna mendukung monitoring dan pengendalian jarak jauh. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi yang lebih komprehensif dan adaptif terhadap kebutuhan industri peternakan modern.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. E. Candra and H. Syafrianto, "PROTOTIPE PENGONTROLAN SUHU OTOMATIS PADA INKUBATOR PENETAS TELUR MENGGUNAKAN ARDUINO UNO," *J. Desain Dan Anal. Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 51–58, Jul. 2022, doi: 10.58520/jddat.v1i1.120.
- [2] Z. Arifin, D. Prihatmoko, S. Safrizal, S. Alim, and N. Choir, "SISTEM MONITORING PEMERATAAN SUHU PADA INKUBATOR TELUR BERBASIS NODE MCU," *J. DISPROTEK*, vol. 14, no. 1, pp. 68–76, Jan. 2023, doi: 10.34001/jdpt.v14i1.4068.
- [3] S. Shafiudin and N. Kholis, "SISTEM MONITORING DAN PENGONTROLAN TEMPERATUR PADA INKUBATOR PENETAS TELUR BERBASIS PID," *J. Tek. Elektro*, vol. 06, no. 03, pp. 175–184, 2017.
- [4] A. Irbite and A. Strode, "DESIGN THINKING MODELS IN DESIGN RESEARCH AND EDUCATION," *Soc. Integr. Educ. Proc. Int. Sci. Conf.*, vol. 4, p. 488, May 2016, doi: 10.17770/sie2016vol4.1584.
- [5] A. Hendriawan, "Inkubator Telur Ayam Menggunakan Lampu DC Dengan Kontrol PID," *TELEKONTRAN*, vol. 4, no. 2, pp. 78–82, 2016.
- [6] D. Kurnia, S. Riyadi, Janizal, A. A. Supriyanto, and I. Kartina, "IMPLEMENTASI

- ARDUINO UNTUK SISTEM KONTROL DAN MONITORING SUHU AIR PADA PROSES PENETASAN TELUR IKAN,” *Ramatekno*, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, Jan. 2023, doi: 10.61713/jrt.v2i2.52.
- [7] D. Nusyirwan, M. Fahrudin, and P. P. Putra Perdana, “Perancangan Purwarupa Pengatur Suhu Otomatis pada Inkubator Penetasan Telur Ayam Menggunakan Arduino Uno dan Sensor Suhu IC LM 35,” *JAST J. Apl. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 1, p. 60, 2019, doi: 10.33366/jast.v3i1.1315.
- [8] M. S. Hadi, S. Ubaidilah, R. A. P. Sari, and D. P. Fatmala, “Sistem kendali otomatis mesin penetas telur menggunakan kontroler PID,” *TEKNO*, vol. 27, no. 2, p. 116, Jul. 2019, doi: 10.17977/um034v27i2p116-124.
- [9] U. W. Yuda and T. Sutabri, “Pengembangan Inkubator Telur Ayam Berbasis IoT dan Arduino dengan Metode Prototipe Sistem Kontrol Suhu,” *J. Sains Student Reasearch*, vol. 3, no. 2, pp. 401–409, 2025.
- [10] R. Solekha and U. Latifa, “Sistem Kendali Proportional Integral Derivative (PID) Menggunakan Mikrokontroler Arduino Pada Thinkercad,” *ELECTRON J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 89–97, May 2024, doi: 10.33019/electron.v5i1.108.
- [11] R. Rustamaji, S. D. A. Sandakila, and K. Sawitri, “ALAT PERAGA ELEKTRONIK BERBASIS ARDUINO DENGAN KELUARAN CAHAYA DAN SUARA UNTUK PENGENALAN WARNA BAGI BALITA,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4231.
- [12] I. Maulana and D. Irawan, “RANCANG BANGUN MESIN ES KRIM PUTAR OTOMATIS MENGGUNAKAN MESIN PENDINGIN BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4891.
- [13] Akmal Darman Putra, Sarjon Defit, and Gunadi Widi Nurcahyo, “Penerapan IoT pada Alat Temperature Monitoring System Cold Chain Box Vaccine Menggunakan Sensor DS18B20,” *J. KomtekInfo*, pp. 1–11, Mar. 2025, doi: 10.35134/komtekinfo.v12i1.589.
- [14] S. Rahadi, “PERANCANGAN PERANGKAT PENGENDALI TEMPERATUR INKUBATOR BAYI BERBASIS MIKROKONTROLER,” *Jpurnal Inf. Tecno. Student*, vol. 3, no. 2, pp. 76–88, 2024.
- [15] M. R. Wirajaya, S. Abdussamad, and I. Z. Nasibu, “Rancang Bangun Mesin Penetas Telur Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 24–29, Feb. 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i1.4579.
- [16] R. R. Hidayah, S. Nurcahyo, and D. Dewatama, “Implementasi Pengaturan Suhu Menggunakan Mikrokontroler ESP32,” *J. Mech. Electr. Tecno.*, vol. 3, no. 3, pp. 106–115, 2024.
- [17] Y. I. Sari, K. P. K. Riyanti, and Z. Wulansari, “Inkubator Pemeliharaan Anak Ayam Menggunakan Sensor Suhu Dan Tenaga Surya Berbasis Iot (Internet of Things),” *J. Elektron. List. dan Teknol. Inf. Terap.*, vol. 3, no. 1, p. 12, 2022, doi: 10.37338/e.v3i1.177.
- [18] G. W. Jaya and A. S. Virginia, “Kajian teori arus listrik dan daya listrik pada rangkaian resistor seri dan paralel berdasarkan jumlah resistor yang digunakan,” *ORBITA J. Pendidik. dan Ilmu Fis.*, vol. 9, no. 1, pp. 87–93, 2023.
- [19] A. D. Dwipanegara, F. L. N, and M. Zaenudin, “Perancangan Dan Pembuatan Alat Inkubator Berbasis Mikrokontroler,” *J. Ind. Elektro dan Penerbangan*, vol. 10, no. 1, p. 2020, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.unnur.ac.id/index.php/indept/article/view/374>
- [20] A. D. Attaqiroh, A. R. Chaidir, and S. Sumardi, “Sistem Pengendalian Suhu pada Inkubator Fermentasi Tempe dengan Metode Proportional Integral Derivative (PID) Secara Digital,” *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 14–22, 2023, doi: 10.23917/emitor.v1i1.21593.