

PENGATURAN SUHU DENGAN METODE GAIN SCHEDULING PI PADA PROTOTYPE INKUBATOR TELUR BERBASIS MIKROKONTROLER DAN INTERNET OF THINGS

Prima Prasetyo Simanjuntak^{1*)}, Aris Triwiyatno², Sudjadi³

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, S.H., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275, Indonesia

*E-mail: primaprasetyosimanjuntak@gmail.com

Abstrak

Usaha peternakan unggas merupakan usaha yang sangat menjanjikan di Indonesia. Salah satu proses penting dalam usaha peternakan adalah proses penetasan telur. Penetasan telur secara alami memiliki kekurangan seperti persentase keberhasilan penetasan yang rendah. Mesin tetas merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan penetasan telur adalah suhu. Suhu yang tidak sesuai akan menghambat perkembangan embrio. Pada penelitian ini dirancang sistem pengaturan suhu pada mesin tetas berbasis *Internet of Things* dengan memanfaatkan sensor DS18B20 untuk mendeteksi suhu, mikrokontroler Arduino Mega dan NodeMCU, serta lampu pijar sebagai aktuator. Sistem yang dirancang dilengkapi dengan pemantauan secara *online* dengan aplikasi secara *offline* dengan LCD. Pada penelitian ini digunakan metode kontrol *gain scheduling* PI untuk mengatur kerja dari lampu pijar. Variabel penjadwal pada sistem yang dirancang berupa gangguan dalam pengaturan suhu yaitu nyala pompa dan terdiri dari 2 kondisi yaitu kondisi *duty cycle* pompa 0%-50% dan *duty cycle* pompa 51%-100%. Sistem yang dirancang diatur untuk dapat menjaga suhu mesin tetas sebesar 38°C. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan sistem yang dirancang mampu menjaga suhu mesin tetas selama 28 hari dengan nilai *error* rata-rata 0,093°C dan persentase keberhasilan penetasan telur pada mesin tetas yang dirancang sebesar 87,7%.

Kata kunci: mesin tetas telur, suhu, kontrol *gain scheduling* PI, *Internet of Things* (IoT)

Abstract

Poultry farming is a very promising business in Indonesia. One of the important processes in livestock business is the egg hatching process. Natural hatching of eggs has drawbacks such as a low percentage of hatching success. The hatching machine is one solution that can be used to overcome these problems. One of the factors that influence the success of hatching eggs is temperature. The temperature that is not suitable will inhibit the development of the embryo. In this study, a temperature regulation system for incubators based on the Internet of Things was designed by utilizing the DS18B20 sensor to detect temperature, Arduino Mega and NodeMCU microcontrollers, and incandescent lamps as actuators. The designed system is equipped with online monitoring with offline applications with LCD. In this study, the gain scheduling PI control method was used to regulate the work of incandescent lamps. The scheduler variable in the designed system is a disturbance in temperature regulation, namely the pump flame and consists of 2 conditions, namely the condition of the pump duty cycle of 0%-50% and the pump duty cycle of 51%-100%. The designed system is set to maintain the incubator temperature of 38°C. Based on the test results, the system designed is able to maintain the temperature of the incubator for 28 days with an average error value of 0.093°C and the percentage of successful hatching of eggs in the designed incubator is 87.7%.

Keywords: incubator, temperature, gain scheduling PI, Internet of Things (IoT)

1. Pendahuluan

Usaha peternakan unggas merupakan salah satu usaha yang sangat menjanjikan di Indonesia. Unggas merupakan salah satu komoditas unggulan dalam memenuhi kebutuhan dan permintaan masyarakat akan sumber protein hewani. Secara statistik permintaan akan daging unggas akan terus

meningkat selaras dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, pendidikan serta perubahan pola hidup masyarakat untuk meningkatkan kesehatan [1]. Beberapa komoditas unggas yang menjanjikan antara lain ayam, itik, dan kalkun.

Salah satu proses penting dalam peternakan unggas adalah penetasan telur. Umumnya indukan unggas akan mengerami telurnya hingga menetas menjadi anakan. Permasalahan yang umumnya terjadi adalah penetasan telur oleh indukan kurang efektif dikarenakan persentase keberhasilan penetasan telur yang rendah. Kondisi lingkungan penetasan yang tidak sesuai menjadi masalah yang seringkali pada akhirnya menimbulkan kerugian bagi peternak. Salah satu parameter yang berpengaruh dalam proses penetasan telur adalah suhu. Suhu yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah akan berakibat pada kematian embrio maupun abnormalitas embrio [2]. Nilai suhu yang optimal untuk menetas telur ayam adalah sekitar 37°C-38°C [3], sedangkan pada itik suhu optimal yang dibutuhkan adalah 37,78°C-39,45°C [4], dan suhu optimal untuk menetas telur kalkun adalah 37,7°C-38,6°C [5]. Mesin tetas telur merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Mesin tetas merupakan suatu perangkat yang dirancang untuk mengatur kondisi lingkungan penetasan telur agar serupa dengan dengan indukan [6]. Salah satu keuntungan dalam penerapan teknologi mesin tetas adalah menghilangkan periode pengeraman pada indukan, sehingga indukan dapat menghasilkan telur lebih banyak selama siklus hidupnya [7].

Seiring dengan perkembangan zaman maka inovasi dalam pembuatan mesin tetas telur sudah banyak dilakukan. Salah satunya adalah pembuatan mesin tetas telur ayam oleh Nelli Susanti pada tahun 2012. Pada perancangan ini metode kontrol yang digunakan adalah *On-off* dengan jumlah telur yang berhasil ditetaskan sebanyak 10 buah dari 15 butir telur yang diuji [8]. Selain Nelli Susanti pada tahun 2017 dilakukan penelitian oleh Dedi Supriyadi mengenai perancangan mesin tetas telur itik dengan menggunakan logika fuzzy dengan persentase keberhasilan penetasan sebesar 67%. [9]. Penelitian mengenai pembuatan mesin tetas telur lainnya dilakukan oleh Ardi Prayugo pada tahun 2021 dengan subjek uji berupa telur kalkun dan metode kontrol *On-Off* dengan keberhasilan penetasan telur ini adalah 60% [10].

Kontrol PI merupakan suatu metode kontrol gabungan antara kontrol proporsional dan kontrol integral dimana kontrol integral berfungsi untuk mengeliminasi *offset* yang disebabkan oleh kontrol proporsional [11], sedangkan *Gain Scheduling* merupakan metode kontrol dimana besar parameter pengendali yang digunakan akan dijadwal sesuai titik kerja atau kondisi yang dihadapi oleh sistem. Agar aktuator mengetahui kondisi proses yang diharapkan maka dalam skema kontrol diperlukan variabel tambahan yang nantinya berfungsi sebagai variabel penjadwal [12].

Pada penelitian ini dirancang untuk mengatasi permasalahan diatas, yaitu dengan sistem pengontrolan suhu pada mesin tetas telur pada 3 jenis unggas yang berbeda yaitu ayam, itik serta kalkun menggunakan metode kontrol *Gain Scheduling* PI. Kontrol *Gain*

Scheduling PI pada sistem ini berfungsi untuk menjadwalkan parameter PI dari mesin tetas berdasarkan variabel penjadwal kondisi pompa. Sistem yang dirancang ini nantinya akan menggunakan aktuator berupa lampu pijar yang akan diatur tegangannya untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan oleh telur serta sensor suhu DS18B20 untuk mengetahui nilai suhu ruangan mesin tetas. Suhu mesin tetas nantinya akan dijaga pada nilai 38°C. Sistem nantinya dapat diawasi baik secara *offline* melalui LCD maupun *online* melalui aplikasi android.

2. Metode

2.1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem bertujuan untuk melakukan pengendalian serta pemantauan pada parameter suhu dari mesin tetas telur dengan memanfaatkan metode *Gain Scheduling* PI. Mesin tetas yang dirancang pada penelitian ini memiliki ukuran 60x40x50 cm. Desain 3 dimensi mesin tetas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain mesin tetas

Seperti tampak pada Gambar 1 mesin tetas yang dirancang dibagi menjadi 2 bagian yaitu ruangan penetasan dan ruangan komponen. Pada ruangan penetasan terdapat 3 buah pemutar telur yang digunakan untuk masing-masing jenis telur, 2 buah kipas serta *nozzle* untuk mengatur kelembapan, lampu untuk mengatur suhu dan ESP32CAM untuk memonitoring kondisi mesin tetas secara *realtime*. Ruangan komponen terdiri dari komponen yang digunakan untuk mengatur kerja mesin tetas. Gambar 2 merupakan tampak atas bagian ruangan penetasan dan Gambar 3 merupakan tampak bawah ruangan penetasan.



Gambar 2. Desain tampak atas ruangan penetasan



Gambar 3. Desain tampak bawah ruangan penetasan

Seperti tampak pada Gambar 2 aktuator yang digunakan untuk menaikkan suhu pada mesin tetas berupa lampu pijar yang akan diletakkan pada bagian atas dari mesin tetas telur. Panas dari lampu pijar akan digunakan untuk memanaskan mesin tetas telur sehingga agar suhu mesin tetas sesuai dengan kebutuhan penetasan telur.

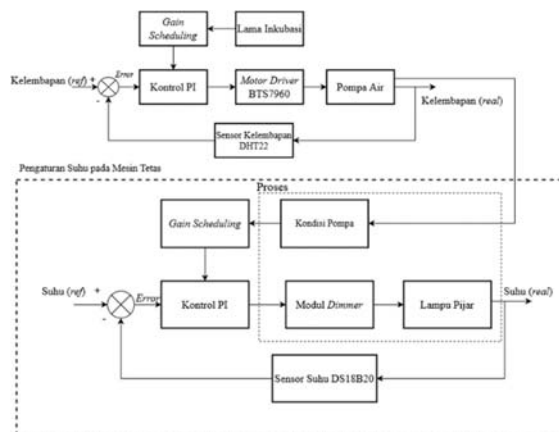


Gambar 4. Alur kerja dari sistem

Gambar 4 merupakan alur kerja dari sistem pengendalian serta pemantauan suhu mesin tetas telur secara keseluruhan dimulai dari pengaturan kondisi pompa oleh Arduino berdasarkan kelembapan dan RTC membaca data waktu lama penetasan, kemudian dilakukan pengiriman data kondisi pompa dan hari dari Arduino Mega menuju NodeMCU melalui komunikasi serial. Data kondisi pompa yang dikirimkan nantinya bernilai 1 atau 2 dengan ketentuan jika *duty cycle* pompa sebesar 0%-50% maka kondisi pompa akan bernilai 1 dan jika *duty cycle* pompa sebesar 51%-100% maka kondisi pompa akan bernilai 2. Data ini kemudian akan dijadikan acuan untuk menentukan nilai parameter PI untuk pengaturan suhu dari mesin tetas. Selanjutnya NodeMCU akan melakukan pembacaan suhu dari sensor DS18B20, yang akan dijadikan *feedback* untuk proses PI pada sistem. Agar mempermudah *user* untuk melakukan pemantauan pada mesin tetas, maka sistem dilengkapi dengan mekanisme pemantauan secara *online* dan *offline*. Pemantauan secara *online* memanfaatkan fitur *Realtime Database* yang berfungsi untuk menampung data sensor dan kemudian akan ditampilkan pada aplikasi Android sedangkan pemantauan secara *offline* dapat dilakukan melalui LCD 16x2 yang berfungsi menampilkan nilai pembacaan suhu dari mesin tetas.

Pada perancangan penelitian ini metode pengendalian yang digunakan adalah metode *Gain Scheduling PI*. Metode *Gain Scheduling* pada sistem ini digunakan untuk melakukan penjadwalan parameter PI berdasarkan kondisi pompa dengan 2 kondisi yaitu ketika nilai *duty cycle* pompa 0%-50% dan ketika nilai *duty cycle* pompa 50%-100%. Sedangkan kontroler PI berfungsi untuk mengendalikan *plant* berupa lampu pijar dengan *setpoint* berupa nilai suhu sebesar 38°C. Sensor suhu DS18B20 akan digunakan untuk mengetahui nilai suhu pada mesin

tetas. Diagram blok dari kontrol *Gain Scheduling PI* yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok sistem

2.2. Perancangan Perangkat Keras

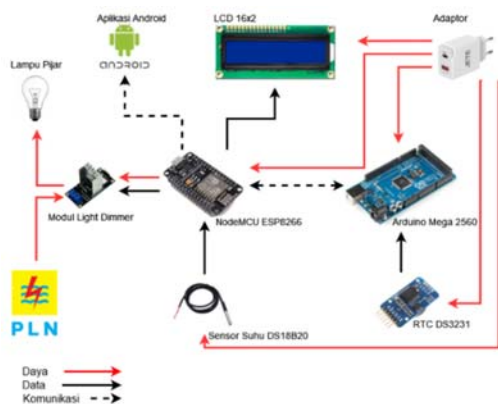
Perancangan perangkat keras terdiri dari perancangan catu daya, desain sistem elektronika, dan spesifikasi sistem elektronika, perancangan aktuator, perancangan sensor dan perancangan mikrokontroler.

2.2.1. Desain Sistem Elektronika

Perancangan Sistem Elektronika pada pengontrolan suhu mesin tetas terdiri dari beberapa komponen yaitu:

1. Lampu Pijar 60 watt berfungsi sebagai aktuator untuk menaikkan suhu dari mesin tetas.
2. Modul *Dimmer* berfungsi sebagai pengontrol dari lampu pijar yang digunakan untuk mengatur intensitas cahaya dari lampu pijar.
3. Sensor Suhu DS18B20 berfungsi sebagai umpan balik nilai pembacaan suhu dari mesin tetas.
4. RTC DS3231 berfungsi sebagai pewaktu dari sistem mesin tetas.
5. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai pengendali utama dan pengolah data pada pengaturan suhu mesin tetas.
6. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 berfungsi untuk membaca data waktu dari RTC DS3231 yang kemudian akan dikirimkan menuju NodeMCU ESP8266 melalui komunikasi serial.
7. LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan data pembacaan suhu mesin tetas secara *offline*.
8. Adaptor berfungsi untuk mengkonversi tegangan AC 220V menjadi tegangan DC 5V untuk mensuplai mikrokontroler dan sensor.

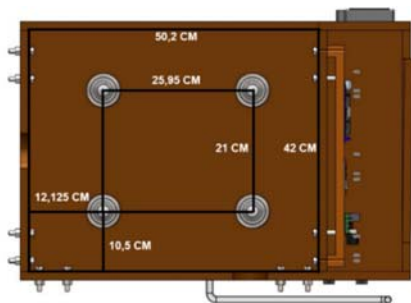
Adapun perancangan perangkat keras dari pengaturan suhu sistem mesin tetas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perancangan keseluruhan perangkat keras sistem suhu mesin tetas

2.2.2. Perancangan Aktuator

Perancangan aktuator dilakukan untuk menentukan aktuator yang sesuai untuk meningkatkan suhu pada mesin tetas telur unggas. Pada perancangan ini dipilih lampu pijar sebagai aktuator yang berfungsi untuk menaikkan suhu mesin tetas unggas. Lampu pijar yang menyala akan menghasilkan panas didalam mesin tetas sehingga suhu mesin tetas mengalami peningkatan. Pada perancangan ini dibutuhkan peningkatan suhu mesin tetas yang cepat sehingga pada perancangan ini digunakan lampu pijar sebesar 60 Watt sebagai aktuator, selain itu dikarenakan dimensi ukuran inkubator yang cukup besar maka pada perancangan ini digunakan lampu pijar sebanyak 4 buah agar panas pada mesin tetas lebih merata. Desain peletakan lampu pada mesin tetas tampak pada Gambar 7.

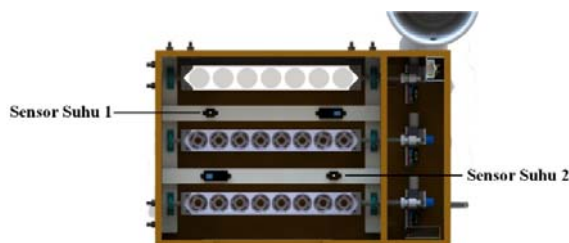


Gambar 7. Tampak atas desain mesin tetas

Gambar 7 merupakan tampak atas dari desain mesin tetas, dengan panjang 50,2 cm dan lebar 42 cm. Terdapat 4 lampu yang diletakkan pada bagian atas dengan jarak tiap lampu sebesar 25,95 cm dari samping dan 21 cm dari depan. Jarak lampu dari triplek adalah 12,125 cm dari kiri mesin tetas dan 10,5 cm dari depan mesin tetas dan agar nyala dari lampu pijar pada mesin tetas dapat diatur intensitasnya maka dibutuhkan komponen tambahan berupa *dimmer* yang berfungsi untuk mengatur intensitas nyala dari lampu pijar. *Dimmer* bekerja dengan memanfaatkan *input* berupa pulsa yang masuk ke *gate* pada TRIAC.

2.2.3. Perancangan Sensor Suhu

Perancangan sensor suhu dilakukan untuk memilih sensor suhu yang sesuai dengan kebutuhan mesin tetas telur unggas. Dalam perancangan mesin tetas ini dibutuhkan sensor suhu yang mampu membaca nilai suhu pada mesin tetas dari rentang 25°C-39°C. Mesin tetas dirancang dengan *sprayer* yang akan menyemprotkan air untuk mengatur kelembapan, maka dibutuhkan sensor suhu yang bersifat *waterproof* sehingga mencegah sensor mengalami kerusakan selama proses penetasan. Berdasarkan beberapa pertimbangan diatas maka sensor suhu yang digunakan pada perancangan mesin tetas ini adalah sensor suhu DS18B20. Sensor suhu DS18B20 memiliki rentang pembacaan dari -55°C-125°C dengan akurasi $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dan waktu konversi maksimal 1 detik. Dikarenakan dimensi dari mesin tetas yang dirancang cukup besar maka pada perancangan ini akan digunakan 2 buah sensor suhu DS18B20 yang kemudian hasilnya akan dirata-rata sehingga mendapatkan pembacaan suhu mesin tetas yang lebih akurat. Pada desain sistem sensor Suhu DS18B20 diletakkan secara bersilangan pada mesin tetas dengan jarak antar keduanya sebesar 31,3 cm. Desain peletakan sensor suhu pada mesin tetas dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Peletakan sensor suhu pada mesin tetas tampak atas

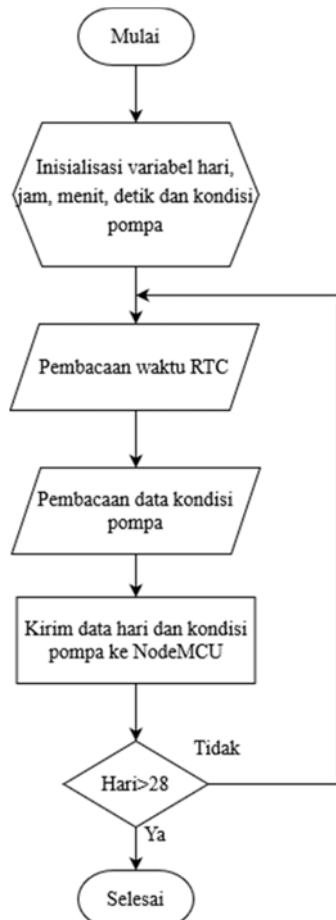
2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini perangkat lunak dirancang dengan menggunakan bahasa pemrograman C memanfaatkan *software* Arduino IDE untuk kedua mikrokontroler yaitu NodeMCU ESP8266 dan Arduino Mega. Mikrokontroler NodeMCU berfungsi untuk membaca data sensor suhu, mengolah data, memberikan sinyal kontrol ke aktuator yaitu lampu pijar, menampilkan data pembacaan sensor pada LCD 16x2, serta mengirimkan data ke firebase agar dapat terhubung dengan aplikasi android, sedangkan Arduino Mega berfungsi untuk mengontrol nyala pompa dan membaca data waktu dari RTC serta mengirimkan data menuju NodeMCU melalui komunikasi serial.

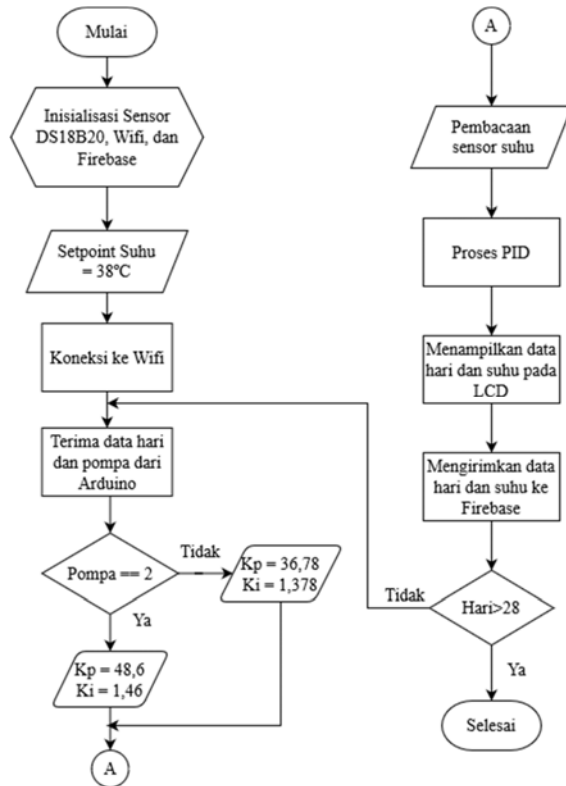
Sistem dimulai dengan pembacaan data waktu dari RTC DS3231 dan pengaturan kondisi pompa oleh Arduino Mega memanfaatkan *driver* BTS7960, kemudian data nyala pompa dan waktu tersebut akan dikirimkan Arduino Mega menuju NodeMCU melalui komunikasi secara serial. Data kondisi pompa tersebut kemudian akan

digunakan pada proses *gain scheduling* untuk menentukan nilai parameter PI dari sistem. Kemudian proses berjalan di NodeMCU dengan NodeMCU mengkoneksikan jaringan ke WiFi agar dapat terhubung ke internet. Kemudian sensor suhu DS18B20 akan membaca nilai suhu mesin tetas dan terhubung dengan NodeMCU. Ketika nilai suhu mesin tetas tidak sesuai dengan *setpoint* maka NodeMCU akan melakukan pengontrolan terhadap lampu pijar dengan menggunakan metode kontrol *Gain Scheduling* PI berdasarkan variabel penjadwal yang sudah ditentukan sebelumnya.

Data waktu dari RTC, serta pembacaan suhu dari sensor DS18B20 kemudian akan ditampilkan pada LCD 16x2 agar dapat dipantau secara langsung, selain itu data waktu dan suhu juga akan dikirimkan ke Firebase agar dapat dipantau menggunakan aplikasi android. Diagram alir dari mesin tetas secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 9 untuk *flowchart* sistem pada Arduino dan Gambar 10 untuk *flowchart* sistem pada NodeMCU.

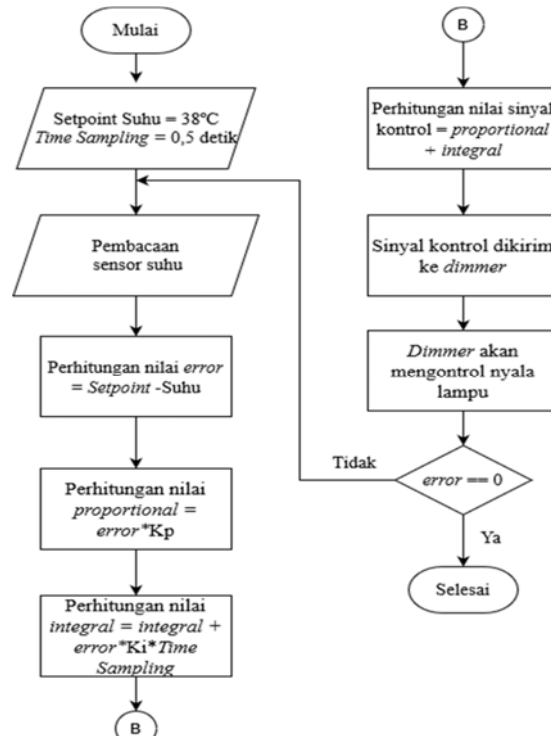


Gambar 9. Flowchart sistem pada arduino



Gambar 10. Flowchart sistem pada NodeMCU

Secara lebih lengkap alur proses PID pada sistem yang sudah dirancang tampak pada Gambar 11.



Gambar 11. Flowchart sistem PID

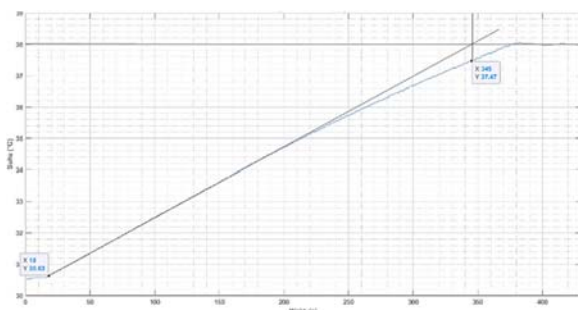
2.4. Perancangan Kontroler

Perancangan kontrol *Gain Scheduling* PI pada penelitian ini terdiri dari perancangan kode program untuk mikrokontroler NodeMCU dan perancangan tuning parameter PI. Kontrol *Gain Scheduling* berfungsi untuk melakukan penjadwalan terhadap parameter Kp dan Ki dari sistem. Parameter Kp dan Ki diatur berdasarkan *duty cycle* pompa dengan 2 buah kondisi yaitu *duty cycle* pompa sebesar 0%-50% dan *duty cycle* pompa sebesar 51%-100%. Sedangkan kontroler PI berfungsi untuk menjaga sistem agar nilai suhu selalu berada pada *setpoint* yang sudah ditentukan. Secara lebih rinci kontrol proposional berfungsi sebagai *gain* sehingga sistem mampu mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan, sedangkan kontrol integral berfungsi untuk menghapus *error steady state* berdasarkan perhitungan antara *error* dengan *sampling time*. Agar mendapatkan parameter Kp dan Ki yang sesuai maka dilakukan *tuning* pada sistem dengan menggunakan metode Ziegler Nichols I. Adapun penentuan parameter Kp dan Ki dari sistem menggunakan Ziegler Nichols I tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Penalaan PID Zigler Nichols 1

Kontroler	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	0,9T/L	L/0,3	0
PID	1,2T/L	2L	0,5L

Berdasarkan Tabel 1 diperlukan nilai T dan L yang nantinya akan digunakan untuk memperoleh nilai Kp dan Ti untuk kontroler PI. Untuk mendapat nilai T dan L dari sistem maka dapat dilakukan pengujian berupa *bump test* pada sistem. *Bump test* dilakukan dengan cara memberikan perubahan pada sinyal kontrol secara manual setelah keluaran proses awal (PV0) mengalami keadaan *steady* hingga (PV1) berada disekitar titik kerja yang diharapkan. Pada penelitian ini dirancang parameter PI untuk 2 kondisi yaitu kondisi ketika nilai *duty cycle* pompa bernilai 0%-50% (kondisi 1) dan ketika nilai *duty cycle* pompa bernilai 51%-100% (kondisi 2). Gambar 12 merupakan uji *bump test* pada kondisi pompa 1.



Gambar 12. Uji bump test kondisi pompa 1

Berdasarkan grafik uji *bump test* pada Gambar 13 didapatkan nilai L (*process transport delay*) dan nilai T

(*process time constant*) yang nilainya digunakan untuk menentukan parameter PI dari sistem. Berdasarkan grafik nilai L adalah 8 detik dan nilai T sebesar 327 sehingga didapatkan perhitungan Kp dan Ki menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$Kp = \frac{0,9T}{L} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1 dengan nilai T sebesar 327 detik dan L sebesar 8 detik didapatkan nilai Kp sebagai berikut.

$$Kp = \frac{0,9 \times 327}{8} = \frac{294,3}{8} = 36,78$$

Setelah mendapatkan nilai Kp kemudian akan dicari nilai Ti dengan menggunakan persamaan

$$Ti = \frac{L}{0,3} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan 2 dengan nilai Kp sebesar 36,78 dan L sebesar 8 detik maka didapatkan nilai Ti sebagai berikut.

$$Ti = \frac{8}{0,3} = 26,7$$

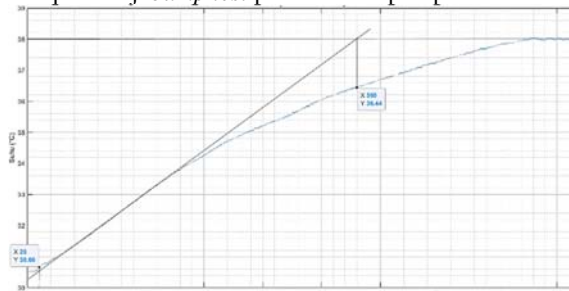
Setelah didapatkan nilai Kp dan Ti maka akan dicari nilai Ki dengan menggunakan persamaan

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan 3 dengan nilai Kp sebesar 36,78 dan nilai Ti sebesar 26,7 maka didapatkan nilai Ki sebesar

$$Ki = \frac{36,78}{26,7} = 1,378$$

Jadi nilai Kp dan Ki untuk kondisi pompa 1 adalah sebesar 36,78 dan 1,378. Langkah selanjutnya adalah menentukan parameter PI untuk kondisi pompa 2. Gambar 13 merupakan uji *bump test* pada kondisi pompa 2.



Gambar 13. Uji bump test kondisi pompa 2

Berdasarkan Gambar 14 maka didapatkan nilai L sebesar 10 detik dan nilai T sebesar 540 detik dan didapatkan perhitungan nilai Kp dan Ki menggunakan Persamaan 1. Berdasarkan persamaan 1 dengan nilai T sebesar 540 detik dan L sebesar 10 detik maka didapatkan nilai Kp sebagai berikut.

$$Kp = \frac{0,9T}{L} = \frac{0,9 \times 540}{10} = \frac{486}{10} = 48,6$$

Setelah mendapatkan nilai Kp kemudian akan dicari nilai Ti dengan menggunakan Persamaan 2 dengan nilai L sebesar 10 detik maka didapatkan nilai Ti sebagai berikut.

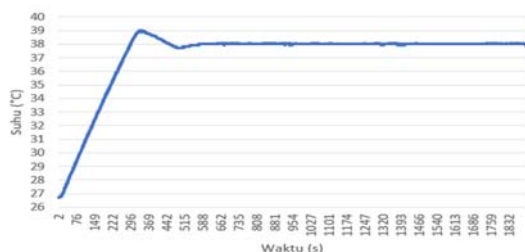
$$Ti = \frac{L}{0,3} = \frac{10}{0,3} = 33,33$$

Nilai K_p dan T_i yang sudah didapatkan sebelumnya kemudian akan digunakan untuk mencari nilai K_i dari sistem dengan menggunakan Persamaan 3 dan nilai K_p sebesar 48,6 dan T_i sebesar 33,33 dan didapatkan nilai K_i sebagai berikut.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{48,6}{33,33} = 1,46$$

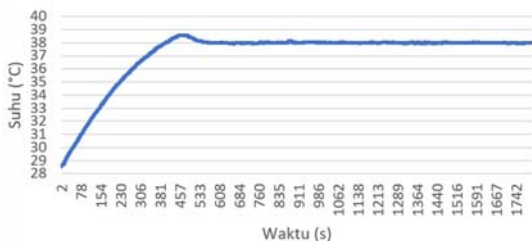
Sehingga nilai K_p dan K_i sistem ketika nilai *duty cycle* pompa sebesar 51%-100% (kondisi pompa 2) adalah sebesar 48,6 dan 1,46.

Penggunaan kontroler *gain scheduling* sebagai penjadwalan nilai parameter PI agar perbedaan waktu yang terjadi tidak terlampaui jauh dan *overshoot* yang terjadi pada sistem tidak terlalu tinggi. Pengujian respon sistem ketika *duty cycle* pompa 0%-50% dengan nilai K_p 48,6 dan K_i 1,46 tampak pada Gambar 14.



Gambar 14. Respon sistem kondisi 1 dengan $K_p= 48,6$ dan $K_i = 1,46$

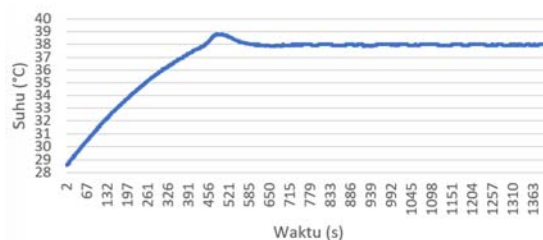
Berdasarkan Gambar 14 ketika *duty cycle* pompa sebesar 0%-50% dengan parameter $K_p = 48,6$ dan $K_i = 1,46$ menghasilkan respon sistem dengan nilai *rise time* sebesar 297 detik dengan *overshoot* yang terjadi sebesar 1°C dan nilai *peak time* sebesar 343 detik. Sedangkan ketika nilai parameter $K_p = 36,78$ dan $K_i = 1,378$ pada kondisi *duty cycle* pompa sebesar 0%-50% maka didapatkan respon tampak pada Gambar 15.



Gambar 15. Respon sistem kondisi 1 dengan $K_p= 36,78$ dan $K_i = 1,378$

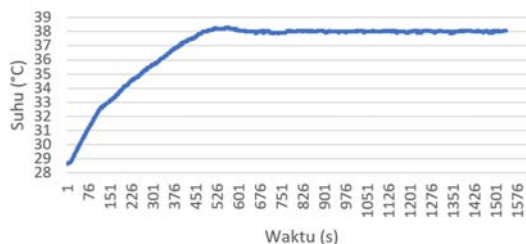
Berdasarkan Gambar 15 ketika *duty cycle* pompa sebesar 0%-50% dengan parameter $K_p = 36,78$ dan $K_i = 1,378$ menghasilkan respon sistem dengan nilai *rise time* sebesar 402 detik dengan *overshoot* yang terjadi sebesar 0,56°C dan nilai *peak time* sebesar 450 detik. Setelah dilakukan pengujian pada kondisi pompa 1, maka selanjutnya akan dilakukan pengujian untuk kondisi pompa 2 yaitu saat *duty cycle* 51%-100%. Pengujian respon sistem ketika nilai

parameter $K_p = 48,6$ dan $K_i = 1,46$ tampak pada Gambar 16.



Gambar 16. Respon sistem kondisi 2 dengan $K_p= 48,6$ dan $K_i = 1,46$

Berdasarkan Gambar 16 ketika *duty cycle* pompa sebesar 51%-100% dengan parameter $K_p = 48,6$ dan $K_i = 1,46$ menghasilkan respon sistem dengan nilai *rise time* sebesar 446 detik dengan *overshoot* yang terjadi sebesar 0,81°C dan nilai *peak time* sebesar 480 detik. Sedangkan ketika nilai parameter $K_p = 36,78$ dan $K_i = 1,378$ pada kondisi *duty cycle* pompa sebesar 51%-100% maka didapatkan respon tampak pada Gambar 17.



Gambar 17. Respon sistem kondisi 2 dengan $K_p= 36,78$ dan $K_i = 1,378$

Berdasarkan Gambar 17 ketika *duty cycle* pompa sebesar 51%-100% dengan parameter $K_p = 36,78$ dan $K_i = 1,378$ menghasilkan respon sistem dengan nilai *rise time* sebesar 582 detik dengan *overshoot* yang terjadi sebesar 0,31°C dan nilai *peak time* sebesar 681 detik. Secara lebih lengkap tabel perbandingan respon sistem dengan nilai parameter PI diatas tampak pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan respon sistem PI terhadap kondisi pompa

Parameter	Kondisi 1	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 2
	K_p 36,78; K_i 1,378	K_p 48,6; K_i 1,46	K_p 36,78; K_i 1,378	K_p 48,6; K_i 1,46
<i>Rise Time</i>	402 detik	297 detik	582 detik	446 detik
<i>Peak Time</i>	450 detik	343 detik	681 detik	480 detik
<i>Overshoot</i>	0,56°C	1,00°C	0,31°C	0,81°C

Berdasarkan Tabel 2 untuk mengurangi *overshoot* serta perbedaan *rise time* yang terlalu jauh pada kedua kondisi pengontrolan maka pada penelitian ini digunakan metode pengontrolan *gain scheduling* dengan ketentuan ketika

nilai *duty cycle* pompa berkisar 0%-50% maka akan digunakan parameter K_p sebesar 36,78 dan K_i sebesar 1,378 sedangkan ketika nilai *duty cycle* dari pompa berkisar 51%-100% maka akan digunakan parameter K_p sebesar 48,6 dan K_i sebesar 1,46.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Aktuator

Pengujian aktuator dilakukan untuk mengetahui kinerja lampu yang berfungsi sebagai pemanas untuk meningkatkan suhu dari mesin tetas. Pengujian aktuator dilakukan dengan memberi variasi nilai *duty cycle* pada modul *dimmer* yang berfungsi untuk mengatur kerja lampu. Lampu akan dinyalakan selama 30 detik dengan suhu awal setiap pengujian yang dilakukan adalah 30°C kemudian nilai kenaikan suhu dari mesin tetas selama 30 detik akan dicatat. Pengujian dilakukan untuk setiap variasi *duty cycle* dengan pengujian sebanyak 2 kali untuk setiap variasi nilai *duty cycle*. Nilai perubahan suhu yang tercatat adalah nilai perubahan suhu setelah 30 detik dari suhu awal pengujian sebesar 30°C. Hasil pengujian aktuator tampak pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Aktuator

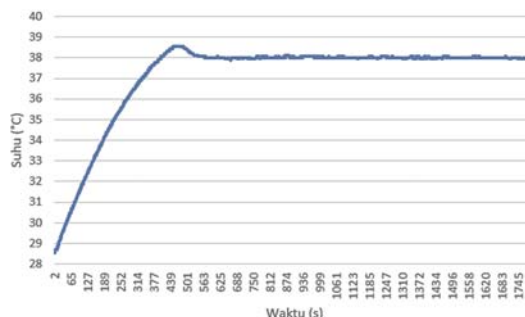
Duty Cycle (%)	Pengukuran Suhu 1 (°C)	Pengukuran Suhu 2 (°C)	Rata-Rata Suhu (°C)
0	0	0	0
10	0	0	0
20	0,07	0,06	0,07
30	0,13	0,12	0,13
40	0,25	0,22	0,24
50	0,38	0,38	0,38
60	0,50	0,50	0,50
70	0,60	0,62	0,61
80	0,68	0,69	0,69
90	0,75	0,72	0,74
100	0,81	0,78	0,80

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa suhu akan mulai mengalami kenaikan suhu dalam 30 detik ketika nilai *duty cycle* sistem lebih dari 10%, dengan kenaikan suhu tertinggi sebesar 0,795°C dalam waktu 30 detik yang terjadi ketika nilai *duty cycle* pada *dimmer* sebesar 100%.

3.2. Pengujian Kontroler

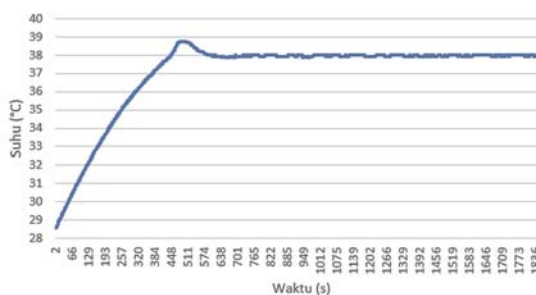
Pengujian kontroler *Gain Scheduling* PI dilakukan untuk mengetahui respon sistem terhadap kontroler yang sudah dirancang. Kontroler *gain scheduling* PI digunakan pada pembuatan penelitian ini dikarenakan kerja pompa akan memperlambat kenaikan suhu dari mesin tetas sehingga perlu dilakukan penjadwalan nilai PI untuk mengurangi keterlambatan sistem dalam menaikkan suhu mesin tetas menuju *setpoint*. Pengujian kontroler dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem ketika pompa menyala dan tidak menyala. Gambar 18 merupakan grafik respon sistem

ketika kondisi pompa 1 yaitu ketika nilai *duty cycle* pengontrolan pompa sebesar 0%-50% dengan nilai K_p sebesar 36,78 dan T_i sebesar 26,7.



Gambar 18. Hasil pengujian respon sistem kondisi pompa 1

Berdasarkan hasil respon sistem pada Gambar 18 terlihat bahwa ketika kondisi pompa 1, kontrol PI yang dirancang mampu mencapai dan mempertahankan nilai suhu sesuai dengan *setpoint* yaitu 38°C. Berdasarkan respon sistem maka didapatkan nilai *delay time* sebesar 154 detik dan nilai *rise time* sebesar 402 detik serta nilai *peak time* sebesar 450 detik dan nilai *maximum overshoot* sebesar 38,56°C. Setelah *steady state* sistem akan mengalami osilasi tetapi tetap berada pada rentang *settling time* 2% dan 5%. Setelah melakukan pengujian kontrol PI pada kondisi pompa 1 maka selanjutnya dilakukan pengujian kontrol PI untuk kondisi pompa 2 yaitu saat nilai *duty cycle* dari pompa sebesar 51%-100% dan nilai K_p sebesar 48,6 dan T_i 33,33. Grafik respon sistem saat kondisi pompa 2 tampak pada Gambar 19.



Gambar 19. Hasil pengujian respon sistem kondisi pompa 2

Berdasarkan Gambar 19 terlihat bahwa ketika kondisi pompa 2, kontrol PI yang dirancang mampu mencapai dan mempertahankan nilai suhu pada *setpoint* yang sudah ditentukan yaitu 38°C. Berdasarkan grafik respon sistem maka didapatkan nilai *delay time* sebesar 177 detik dan nilai *rise time* sebesar 446 detik serta nilai *peak time* sebesar 480 detik dan *maximum overshoot* sebesar 38,75°C. Setelah sistem berada pada kondisi *steady state* sistem akan mengalami osilasi disekitar rentang 2% dan 5% dari nilai *setpoint*. Sehingga dapat disimpulkan sistem yang dirancang mampu menjaga nilai suhu pada *setpoint* yang ditentukan pada kedua kondisi yaitu saat *duty cycle* pompa sebesar 0%-50% dan ketika *duty cycle* pompa

sebesar 51%-100% dengan waktu pengujian setiap kondisi adalah 30 menit.

3.3. Pengujian Penetasan Telur

Pengujian penetasan telur dilakukan untuk mengetahui persentase keberhasilan penetasan telur. Pada pengujian mesin tetas digunakan sampel percobaan sebanyak 8 telur ayam, 8 telur itik, dan 7 telur kalkun.

Pada hari ke 4 seluruh telur akan disortir untuk memisahkan telur fertil dengan infertil. Penyortiran dilakukan dengan cara meneropong telur untuk melihat apakah terdapat embrio yang berkembang didalam telur. Perbedaan telur fertil dan infertil saat diteropong terdapat pada Gambar 20.



(a) (b)
Gambar 20. Peneropongan telur (a) Fertil (b) Tidak fertil

Berdasarkan Gambar 20 terlihat perbedaan antara telur fertil dengan infertil. Pada telur fertil terdapat embrio yang membentuk jaringan di dalam telur ketika dilakukan peneropongan, sedangkan pada telur infertil tidak terlihat adanya jaringan embrio yang terbentuk di dalam telur saat dilakukan peneropongan. Adapun data telur infertil dan fertil setelah dilakukan peneropongan pada hari keempat tampak pada Tabel 4.

Unggas	Fertil	Infertil	Persentase
Ayam	7	1	87,5%
Itik	6	2	75%
Kalkun	5	2	71,4%
Rata - rata			77,97

Berdasarkan data pada Tabel 4 terlihat bahwa persentase telur fertil tertinggi adalah ayam yaitu 87,5% sedangkan persentase telur fertil terendah terjadi pada kalkun yaitu sebesar 71,4% dengan persentase fertil rata-rata dari ketiga jenis telur adalah 77,97%. Telur yang infertil disebabkan oleh banyak faktor seperti kualitas indukan, umur indukan serta kualitas pemberian pakan pada indukan. Selain itu umur telur sebelum masuk mesin tetas juga mempengaruhi tingkat kefertilitan dari sebuah telur. Setelah dilakukan peneropongan pada hari ketiga dan kelima, telur fertil akan kembali dimasukkan kedalam mesin tetas sedangkan telur infertil akan dikeluarkan agar tidak membusuk didalam mesin tetas.

Setelah proses *candling*, kemudian akan ditunggu hingga hari ke 21 untuk ayam menetas dan hari ke 28 untuk itik dan kalkun mulai menetas. Data persentase keberhasilan penetasan telur secara lengkap tampak pada Tabel 5 dan Gambar 21 merupakan kondisi inkubator setelah ayam menetas dan Gambar 22 merupakan kondisi inkubator ketika itik dan kalkun menetas.



(a) (b)
Gambar 21. Telur ayam menetas (a) Ayam menetas sebanyak 3 (b) Ayam menetas sebanyak 4



Gambar 22. Kondisi mesin tetas saat itik dan kalkun menetas

Unggas	Berhasil	Gagal	Persentase
Ayam	7	0	100%
Itik	5	1	83%
Kalkun	4	1	80%
Rata - rata			87,7%

Berdasarkan Tabel 5 persentase keberhasilan penetasan telur tertinggi terjadi pada ayam dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%, dan persentase keberhasilan penetasan terendah terjadi pada kalkun dengan tingkat keberhasilan 80%. Rata-rata persentase keberhasilan mesin tetas untuk menetas telur adalah sebesar 87,7%. Persentase keberhasilan penetasan ini dipengaruhi terutama oleh daya tahan embrio dan kualitas telur.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem dan analisis yang sudah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengujian modul *light dimmer* didapatkan hasil bahwa semakin besar nilai *duty cycle* dari *dimmer* maka akan semakin besar kenaikan suhu yang dihasilkan oleh lampu pijar pada mesin tetas, dengan kenaikan tertinggi terjadi saat *duty cycle* 100% dengan nilai kenaikan suhu sebesar 0,795°C setiap 30 detik.
2. Pada pengujian kontrol *gain scheduling* PI, ketika kondisi pompa 1 dan nilai parameter yang digunakan sebesar K_p 36,78 dan T_i 26,7,

didapatkan hasil respon *plant* dengan nilai *delay time* sebesar 154 detik dan nilai *rise time* sebesar 402 detik, nilai *peak time* sebesar 450 detik dan *maximum overshoot* sebesar 38,56°C.

3. Pada pengujian kontrol *gain scheduling* PI, ketika kondisi pompa 2 dan nilai parameter yang digunakan sebesar K_p 48,6 dan T_i 33,33, didapatkan hasil respon *plant* dengan nilai *delay time* sebesar 177 detik dan nilai *rise time* sebesar 446 detik, nilai *peak time* sebesar 480 detik dan *maximum overshoot* sebesar 38,75°C.
4. Pada pengujian penetasan telur didapatkan hasil bahwa pada hari ketiga dan kelima setelah dilakukan peneropongan didapatkan data jumlah telur fertil sebanyak 18 telur yang terdiri dari 7 telur ayam, 6 telur itik dan 5 telur itik dari total 23 telur yang ditetaskan. Kemudian setelah 21 hari didapatkan jumlah telur ayam yang menetas sebanyak 7 dengan persentase keberhasilan sebesar 100%, kemudian pada hari ke 28 didapatkan jumlah telur itik yang menetas sebanyak 5 dengan persentase keberhasilan sebesar 83% dan telur kalkun sebanyak 4 dengan persentase keberhasilan sebesar 80% sehingga rata-rata keberhasilan penetasan telur pada mesin tetas sebesar 87,7%.

Referensi

- [1] S. Sukmawati, A. Asmawati, H. Abubakar, and S. Nurhidayanti, "Peningkatan Pendapatan Peternak Unggas Melalui Konsep Agribisnis Peternakan," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 2021, pp. 88–93.
- [2] Y. Mariani and M. A. Hamzani, "Pengaruh Suhu Penetasan Terhadap Fertilitas, Mortalitas dan Daya Tetas Telur Ayam Kampung (*Gallus Domesticus*) pada Inkubator," *AGRIPTEK (Jurnal Agribisnis dan Peternakan)*, vol. 1, no. 1, pp. 23–28, 2021.
- [3] V. A. Ruslina, "Perancangan dan Pembuatan Mesin Penetas Telur yang Dilengkapi Dengan Sistem Deteksi Penetasan Berbasis Arduino Mega 2560," Institut Teknologi Nasional Malang, 2017.
- [4] Z. Zuhajji, "Analisis Perbandingan Temperatur Dalam dan Luar Serta Kelembaban Relatif pada Mesin Penetas Telur Tenaga Listrik," *J. Media Elektr.*, vol. 18, no. 2, pp. 31–37.
- [5] N. Anggrain, T. Kurtini, and D. Septinova, "Perbandingan Fase Produksi Telur Kalkun Terhadap Fertilitas, Susut Tetas, Daya Tetas, Dan Bobot Tetas," *J. Ilm. Peternak. Terpadu*, vol. 2, no. 1, 2014.
- [6] A. Zaki, "Kontrol Temperatur dan Kelembaban Pada Alat Penetas Telur," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [7] M. Rusdin, A. S. Aku, and others, "Daya tetas dan lama menetas telur ayam tolaki pada mesin tetas dengan sumber panas yang berbeda," *J. Ilmu dan Teknol. Peternak. Trop.*, vol. 1, no. 1, pp. 32–44, 2014.
- [8] N. Susanti, E. A. Kuncoro, and H. Hersyamsi, "Sistem Pengatur Suhu pada Mesin Penetas Telur Tipe Portable," *J. Tek. Pertan. Sriwij.*, vol. 1, no. 1, pp. 70–74, 2012.
- [9] D. Supriyadi, "Perancangan Inkubator untuk Penetasan Telur Bebek Otomatis," *J. Elektra*, vol. 2, no. 2, pp. 20–31, 2017.
- [10] A. Prayugo and S. Syahririni, "Arduino Based Turkey Egg Incubator With Molen Rotation Method," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [11] M. Fauziyah, D. Dewatama, and M. Atisobhita, "Implementasi Kontrol PI Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan*, 2017, vol. 1, no. 01, pp. 217–222.
- [12] D. Henry, S. T. Alimuddin, and R. W. MT, "Simulasi Kendali Integral-Gain Scheduling untuk Temperatur dan Pid-Gain Scheduling untuk Kelembaban Pada Model Inkubator Bayi Manusia, 2015.