



## Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan pada Alat Penetas Telur Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Nur Iksan<sup>#1</sup>, Linda Hidayati<sup>\*2</sup>, Tatyantoro Andrasto<sup>#3</sup>, Khoirudin Fathoni<sup>#4</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
Jl. Raya Sekaran, Kelurahan Sekaran, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah

<sup>1</sup>nur.iksan@mail.unnes.ac.id

<sup>2</sup>lindaehidayati10@gmail.com

<sup>3</sup>tatyantoro@mail.unnes.ac.id

<sup>4</sup>khoirudinfathoni@mail.unnes.ac.id

**Abstrak**— Seiring dengan permintaan daging ayam yang terus meningkat setiap tahun, perlu meningkatkan kapasitas produksi ayam. Akan tetapi alat penetas telur yang beredar di pasaran saat ini memiliki kapasitas yang kecil, sehingga kurang efektif. Selain itu, sebagian besar alat penetas telur yang beredar hanya menggunakan pengontrolan suhu saja, tanpa memperhatikan faktor lain seperti pengontrolan kelembapan, pemutaran telur dan sumber energi listrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat alat penetas telur kapasitas 100 butir dengan sistem kendali suhu dan kelembapan yang mampu menjaga kestabilan suhu dan kelembapan sesuai *setpoint*. Sistem ini juga dilengkapi dengan pemutar telur otomatis serta baterai sebagai *back up* energi. Penelitian ini menggunakan sistem *fuzzy logic* Mamdani karena dapat memanipulasi kebutuhan suhu dan kelembapan sesuai dengan batas maksimal dan minimal suhu dan kelembapan alat penetas telur berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah dibuat. Komponen utama yang digunakan antara lain ESP32, sensor DHT22, RTC DS3231, *dimmer*, *driver* motor L289N, relay, motor AC sinkron, lampu dan kipas. Hasil dari penelitian ini berupa alat penetas telur dengan sistem kendali suhu dan kelembapan. Sistem *fuzzy* yang di desain mampu mempertahankan suhu dan kelembapan sesuai dengan *setpoint*. Untuk mencapai *setpoint* suhu dan kelembapan yang diinginkan, sistem membutuhkan waktu selama 17 menit. Pemutaran rak telur setiap 3 jam sekali lebih efektif daripada pemutaran rak telur setiap 4 jam sekali. Hasil dari penelitian ini memiliki persentase keberhasilan penetasan sebesar 88%.

**Kata kunci**— Alat penetas telur, *fuzzy logic controller*, suhu, kelembapan, *back up* energi

### I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris yang mayoritas penduduknya bekerja sebagai petani. Bagian dari sektor pertanian yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia yaitu subsektor peternakan. Menurut data Badan Pusat Statistik 2020, subsektor peternakan memberikan kontribusi terhadap perekonomian nasional dan dapat menyerap tenaga kerja yang cukup besar,

sehingga diharapkan dapat meningkatkan perekonomian nasional [1].

Komoditas peternakan ayam saat ini menjadi salah satu komoditas yang paling diminati. Kebutuhan daging ayam nasional telah mencapai 60% dengan didominasi ternak unggas terutama ayam[2]. Diperkirakan untuk tahun-tahun berikutnya permintaan daging ayam akan terus meningkat seiring dengan tingginya kebutuhan konsumsi daging ayam. Melihat kondisi tersebut, para peternak perlu meningkatkan kapasitas produksi penetasan telur ayam dengan inovasi alat penetas telur untuk memenuhi kebutuhan pasar.

Dalam pembuatan alat penetas telur ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan antara lain, suhu, kelembapan, pemutaran telur dan sumber energi listrik [3]. Maka perlu adanya suatu inovasi alat yang serba otomatis yang mampu mengontrol keadaan suhu agar tetap stabil sesuai *setpoint* [4].

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh [5] mengenai sistem monitoring dan pengontrolan suhu pada alat penetas telur menggunakan metode *Proporsional Integral Derivative* (PID). Respons sistem yang dihasilkan cukup stabil dengan nilai *error steady state* 2,7% dan persentase keberhasilan penetasan sebesar 70-80%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, persentase keberhasilan penetasan belum optimal, sehingga perlu adanya sistem yang sesuai dengan kebutuhan dari alat penetas telur untuk meningkatkan persentase keberhasilan penetasan telur.

*Fuzzy logic* merupakan metode yang digunakan untuk memanipulasi kebutuhan suhu dan kelembapan sesuai dengan batas maksimal dan minimal suhu dan kelembapan alat penetas telur berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah dibuat. Perubahan suhu dan kelembapan pada alat penetas telur tidaklah instan. Di mana, jika suhu dan kelembapan mencapai batas maksimal aturan *fuzzy* maka alat bekerja untuk menurunkan suhu dan kelembapan. Sedangkan, jika suhu dan kelembapan mencapai batas minimal aturan *fuzzy* maka alat bekerja untuk menaikkan suhu dan kelembapan. Dan jika suhu dan kelembapan

telah mencapai *setpoint* dari suhu dan kelembapan maka alat bekerja untuk mempertahankan kondisi tersebut. Maka dari itu, penggunaan metode *fuzzy logic* merupakan metode yang cocok diterapkan pada alat ini.

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka pada penelitian ini akan dibuat sebuah alat penetas telur dengan sistem yang dapat membantu untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan. Di mana alat menggunakan kendali cerdas yaitu *Fuzzy Logic Mamdani* guna menjaga kondisi suhu dan kelembapan agar tidak melewati batas minimal dan maksimal pada suhu dan kelembapan ideal ruang penetas telur. Sistem ini diterapkan pada alat penetas telur untuk kebutuhan industri dengan kapasitas 100 butir dengan pemutar telur otomatis serta dilengkapi juga baterai sebagai energi cadangan untuk mengantisipasi apabila terjadi pemadaman listrik yaitu baterai.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Mesin Penetas Telur

Alat ini biasanya digunakan para peternak untuk membantu proses pengeraman dan penetasan telur dalam jumlah besar [6]. Hal ini dilakukan karena pengeraman telur secara alami dengan induk ayam dirasa kurang efektif hanya mampu mengerami sekitar 13 butir telur [7]. Dalam pembuatan mesin penetas telur ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan yaitu suhu dan perkembangan embrio, kelembapan, ventilasi, pemutaran telur dan kebersihan [8].

### B. Suhu dan Kelembapan

Suhu dan kelembapan adalah faktor terpenting yang menentukan keberhasilan proses penetasan [9]. Proses penetasan telur ayam membutuhkan waktu untuk menetas yaitu 21 hari dengan suhu 37°C-39°C dan kelembapan optimal yaitu 55%-60%RH [10].

### C. Fuzzy Mamdani

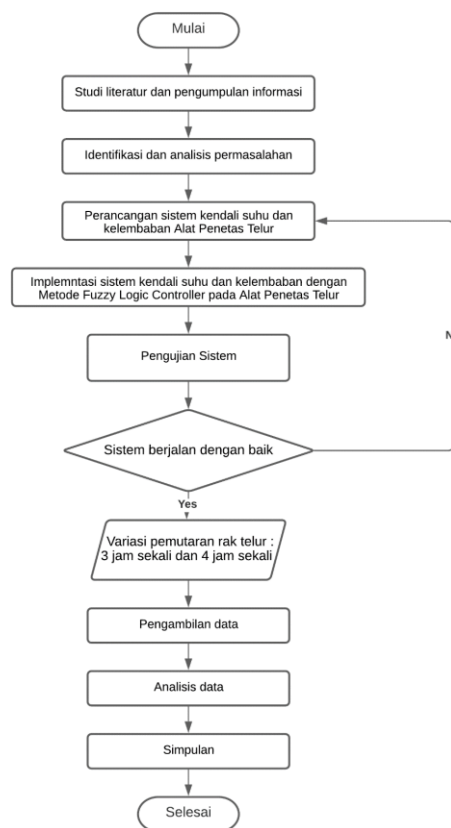
Logika *fuzzy* digunakan untuk menggambarkan ketidakjelasan, sehingga besar kecilnya kebenaran dan kesalahan tergantung pada jumlah keanggotaan [11]. Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dari 0 sampai 1 untuk menunjukkan sejauh mana suatu nilai dapat disebut benar dan dapat disebut salah [12].

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Desain Fuzzy Logic Controller (FLC)

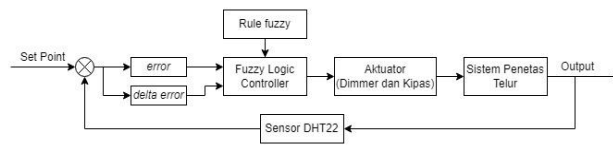
Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang dan Workshop Atas Kota di Gunungpati, Semarang. Tahap penelitian dimulai dari studi literatur untuk mengkaji penelitian sebelumnya. Analisis permasalahan untuk mengkaji pokok-pokok permasalahan dari penelitian dengan menganalisis parameter yang digunakan. Perancangan sistem kendali alat yaitu membuat perancangan alat penetas telur dengan menentukan perangkat kendali, *user interface*, *input* dan *output* yang dibutuhkan serta metode yang digunakan.

Mengimplementasikan mikrokontroler ESP32 dan perangkat *input* atau *ouput* pada sistem, pengujian sistem untuk memperoleh data real mulai dari perangkat keras sampai dengan perangkat lunak, pengambilan data dan penarikan simpulan. Dan apabila sistem yang dirancang belum bekerja dengan baik, maka akan dilakukan perbaikan dan pemecahan masalah. Diagram alir penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Sistem kendali yang digunakan yaitu *close loop* dengan sistem *fuzzy logic mamdani*. Sistem *close loop* adalah sistem kontrol yang memiliki umpan balik, artinya sistem ini menggunakan sinyal keluaran untuk mengoreksi kembali sinyal keluaran. Gambar 2 merupakan diagram blok sistem kendali suhu dan kelembapan pada alat penetas telur.



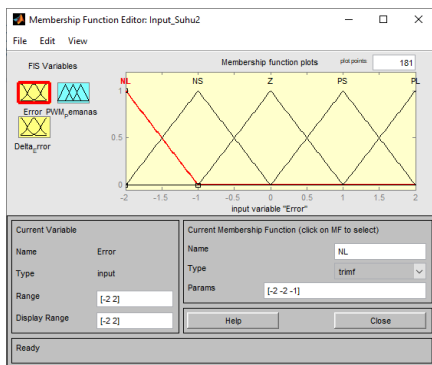
Gambar 2. Diagram blok sistem Fuzzy Logic

Tahap awal yaitu fuzzifikasi, proses mengubah *input* dari nilai tegas menjadi nilai himpunan *fuzzy*[13]. Pada tahap fuzzifikasi, variabel *input fuzzy* terdiri dari dua macam keanggotaan yaitu *error* dan *delta error*. Sedangkan *output* berupa *Pulse Width Modulation* (PWM) dari lampu dan kipas. PWM adalah sebuah teknik untuk

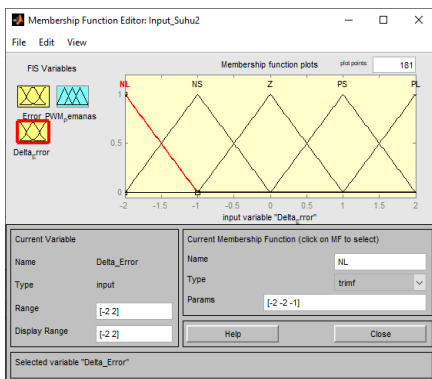
memanipulasi lebar pulsa pada sebuah gelombang kotak dengan amplitude dan frekuensi yang tetap. Nilai *input* yang digunakan yaitu *negative large* (NL), *negative small* (NS), *zero* (Z), *positive small* (PS) dan *positive large* (PL). Keanggotaan *output* suhu terdiri dari sangat redup (SR), redup (R), normal (N), terang (T) dan sangat terang (ST), sedangkan keanggotaan *output* kelembapan terdiri dari sangat pelan (SR), pelan (P), normal (N), cepat (C) dan sangat cepat (SC). Desain fungsi keanggotaan *input* dan *output* fuzzy dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini.

1) Fungsi Keanggotaan Input dan Output Suhu

Data *input* suhu berupa nilai tegas (*crisp*) antara -2 sampai 2, di mana nilai ini didapat dari selisih nilai batas bawah dengan nilai *setpoint* (-2) dan selisih nilai batas atas dengan nilai *setpoint* (2). Pada penelitian ini nilai *setpoint* suhu yang digunakan 38°C, sehingga sistem kendali yang dirancang akan otomatis mengubah nilai suhu sesuai dengan batas atas dan batas bawah dari nilai *setpoint* suhu. Nilai *input error* dan *delta error* suhu kemudian diubah menjadi himpunan fuzzy *Negative Large* (NL), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS) dan *Positive Large* (PL). Proses fuzzifikasi *input* suhu dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



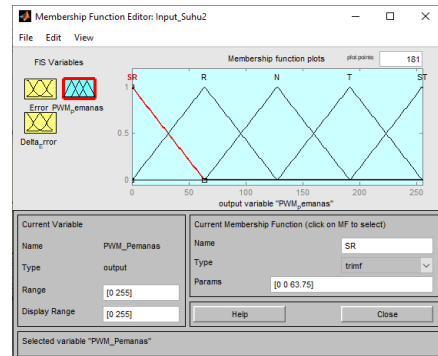
Gambar 3. Fungsi keanggotaan *input error* pada suhu



Gambar 4. Fungsi keanggotaan *input delta error* pada suhu

Sinyal *output* PWM lampu berupa nilai tegas (*crisp*) antara 0 sampai 255, dimana nilai ini didapat dari nilai PWM yang dikirim ke mikrokontroler untuk mengontrol intensitas cahaya lampu yaitu 0 sampai 255. Nilai fuzzifikasi *output* PWM lampu kemudian diubah menjadi

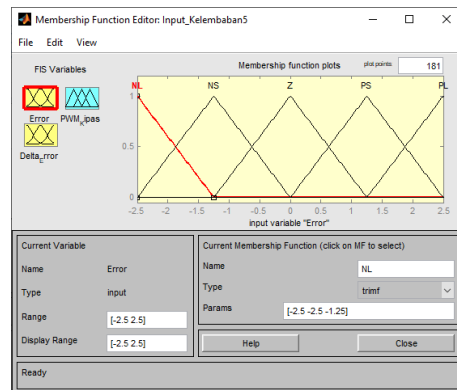
himpunan fuzzy Sangat Redup (SR), Redup (R), Normal (N), Terang (T) dan Sangat Terang (ST). Proses fuzzifikasi *output* PWM pemanas (lampu) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan *output* pada suhu

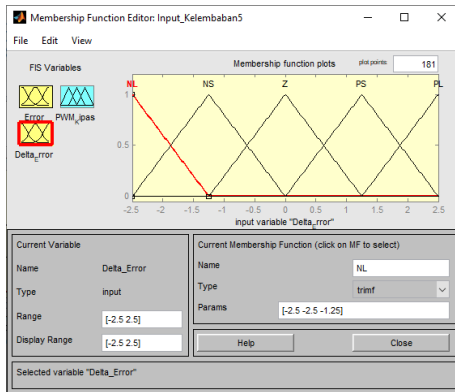
2) Fungsi Keanggotaan Input dan Output Kelembapan

Data *input* kelembapan berupa nilai tegas (*crisp*) antara -2,5 sampai 2,5, di mana nilai ini didapat dari selisih nilai batas bawah dengan nilai *setpoint* (-2,5) dan selisih nilai batas atas dengan nilai *setpoint* (2,5). Pada penelitian ini nilai *setpoint* kelembapan yang digunakan yaitu 58%RH, sehingga sistem kontrol yang dirancang akan otomatis mengubah nilai kelembapan sesuai dengan batas atas dan batas bawah dari nilai *setpoint*. Nilai *input error* dan *delta error* kelembapan kemudian diubah menjadi himpunan fuzzy *Negative Large* (NL), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS) dan *Positive Large* (PL). Proses fuzzifikasi kelembapan dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

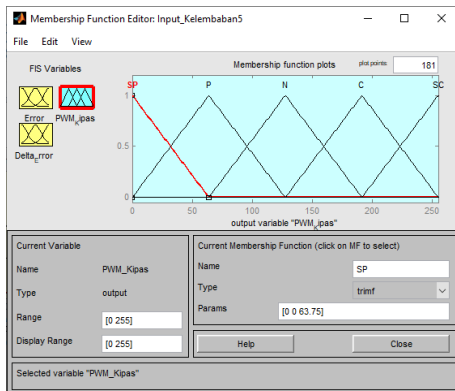


Gambar 6. Fungsi keanggotaan *input error* pada kelembapan

Sinyal *output* PWM kipas berupa nilai tegas (*crisp*) antara 0 sampai 255, dimana nilai ini didapat dari nilai PWM yang dikirim ke mikrokontroler untuk mengontrol kecepatan kipas yaitu 0 sampai 255. Nilai fuzzifikasi *output* PWM kipas kemudian diubah menjadi himpunan fuzzy Sangat Pelan (SP), Pelan (P), Normal (N), Cepat (C) dan Sangat Cepat (SC). Proses fuzzifikasi *output* PWM kipas dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Fungsi keanggotaan input delta error pada kelembapan



Gambar 8. Fungsi keanggotaan output pada kelembapan

Setelah proses fuzzifikasi selesai, hasil fuzzifikasi akan diatur menggunakan aturan yang sudah dibuat agar output-nya sesuai dengan rancangan. Proses untuk mendapatkan nilai output dari rulebase yang dibuat disebut inferensi[14]. Pada tahap inferensi, kerangka komputasi didasarkan pada teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy berbentuk IF-THEN, dan penalaran fuzzy. Pada sistem ini, kontroler akan menurunkan atau menaikkan output dari sistem agar sesuai dengan setpoint, sehingga kontroler mengambil tindakan untuk menyesuaikan output-nya. Rulebase fuzzy membership suhu dan kelembapan dapat dilihat pada Tabel I dan Tabel II.

TABEL I  
RULEBASE FUZZY MEMBERSHIP SUHU

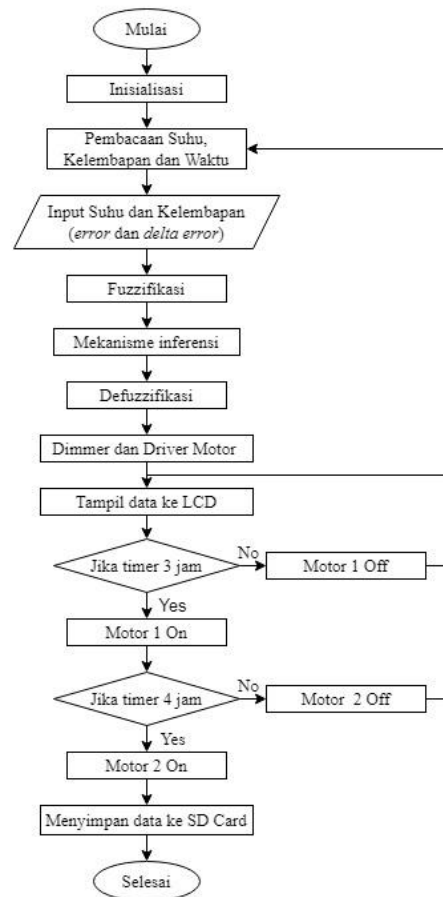
dE \ E	NL	NS	Z	PS	PL
NL	ST	ST	ST	T	N
NS	ST	ST	T	N	R
Z	ST	T	N	R	SR
PS	T	N	R	SR	SR
PL	N	R	SR	SR	SR

TABEL II  
RULEBASE FUZZY MEMBERSHIP KELEMBAPAN

dE \ E	NL	NS	Z	PS	PL
NL	SP	SP	SP	P	N
NS	SP	SP	P	N	C
Z	SP	P	N	C	SC
PS	P	N	C	SC	SC
PL	N	C	SC	SC	SC

Tahap terakhir dalam sistem fuzzy logic mamdani yaitu proses defuzzifikasi. Dalam tahap ini, data input yang dimasukkan dalam himpunan fuzzy di ubah kembali ke bentuk tegas (crisp)[15]. Dengan menggunakan operator AND pada kombinasi ini, langkah selanjutnya adalah menentukan predikat dengan mencari nilai minimum pada setiap kombinasi [16].

B. Flowchart Perancangan Sistem



Gambar 9. Flowchat perancangan sistem

Flowchart sistem kendali suhu dan kelembapan pada alat penetas telur ditunjukkan pada Gambar 9. Tahap awal dimulai dari inisialisasi dan pembacaan suhu, kelembapan serta waktu oleh sensor DHT22 dan RTC.

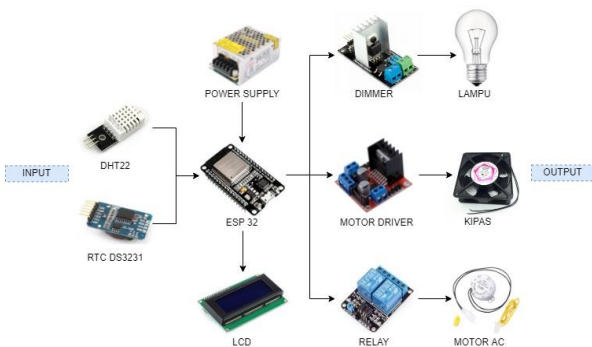
Tahap selanjutnya yaitu input suhu dan kelembapan berupa nilai error dan delta error. Setelah itu, nilai input suhu dan kelembapan akan diproses di fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi. Selanjutnya output dari defuzzifikasi akan diterima dan dijalankan oleh dimmer untuk mengatur lampu dan driver motor untuk mengatur kecepatan kipas. Dimmer digunakan untuk pengaturan suhu, jika suhu lebih dari setpoint maka nilai PWM pemanas turun (cahaya lampu meredup) dan jika kurang dari setpoint maka nilai PWM pemanas naik (cahaya lampu makin terang). Sedangkan, driver motor digunakan untuk pengaturan kelembapan, jika kelembapan lebih dari setpoint maka nilai PWM kipas turun (kipas pelan) dan

jika kurang dari *setpoint* maka nilai PWM kipas naik (kipas cepat). Hasil dari pengujian suhu dan kelembapan akan ditampilkan pada LCD dan kemudian kembali lagi ke pembacaan suhu, kelembapan dan waktu oleh DHT22 dan RTC.

Jika sistem telah berjalan selama 3 jam maka motor AC 1 *On* menggerakkan rak telur atas dan akan menyala kembali setelah 3 jam berikutnya. Sedangkan, jika sistem telah berjalan selama 4 jam maka motor AC 2 *On* menggerakkan rak telur bawah dan akan menyala kembali setelah 4 jam berikutnya. Apabila motor AC 1 dan motor AC 2 dalam keadaan *Off* maka akan kembali ke pembacaan suhu, kelembapan dan waktu oleh DHT22 dan RTC. Kemudian data hasil pembacaan suhu, kelembapan dan waktu akan disimpan di *SD Card*

C. Sistem Kerja Alat Penetas Telur

Sistem kerja alat penetas telur otomatis menggunakan metode *fuzzy logic controller* sebagai sistem kontrol. Sistem kerjanya terdiri dari 3 bagian utama yaitu masukan, *controller* dan keluaran, dimana setiap sistem saling berpengaruh terhadap sistem yang lain. Gambar 10 merupakan diagram blok sistem kerja alat penetas telur.



Gambar 10. Diagram blok sistem kerja alat penetas telur

Dalam proses perancangannya, alat ini menggunakan beberapa komponen yaitu *mikrokontroler* ESP32, sensor DHT22, RTC, LCD, *power supply*, *dimmer*, relay, motor AC, *motor driver*, lampu dan kipas. Mulai dari sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembapan pada ruang penetas. Masukkan dari sistem ini berupa suhu dan kelembapan yang kemudian diproses dengan *fuzzy logic controller* dan hasilnya dibaca oleh mikrokontroler ESP32. Kemudian nilai perbedaan suhu dan kelembapan dijadikan acuan pengaturan intensitas cahaya dan kipas. RTC sebagai *timer* digital dan acuan waktu dalam menggerakkan 2 rak telur. ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali dari seluruh sistem yang ada. Keluaran sistem berupa motor AC, *dimmer*, *motor driver* dan LCD sebagai *output interface*. Fungsi dari motor AC untuk menggerakkan rak telur, *dimmer* untuk mengatur atau mengendalikan intensitas cahaya dari lampu sebagai sumber panas, *motor driver* digunakan untuk mengendalikan kecepatan kipas dan LCD untuk menampilkan data hasil pembacaan suhu, kelembapan dan waktu.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Fuzzy

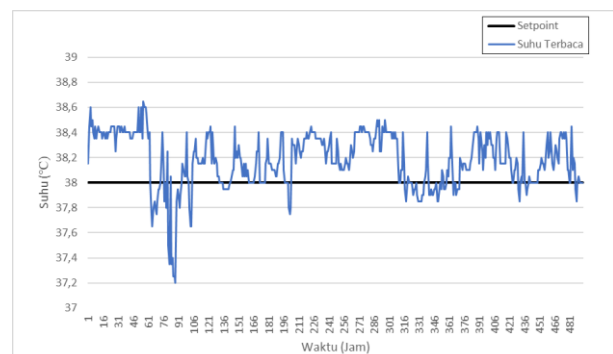
Setelah penelitian dilaksanakan, hasil sistem kendali *fuzzy* yang telah dirancang mampu mempertahankan suhu dan kelembapan sesuai dengan *setpoint* dan berada dalam batas atas dan batas bawah sesuai dengan aturan *fuzzy Mamdani* yang telah dibuat selama 21 hari. Tabel III merupakan hasil perbandingan *output fuzzy* pada kontroler, simulasi dan perhitungan manual.

TABEL III  
HASIL PERBANDINGAN OUTPUT FUZZY PADA KONTROLER, SIMULASI DAN PERHITUNGAN MANUAL (NILAI PWM)

Variabel	Nilai		Output Fuzzy Mikrokontroler	Output Fuzzy Simulasi	Output Fuzzy Perhitungan
	E	AE			
Suhu	0,1	0,1	116	118	118,64
Kelembapan	1,7	0,9	206	208	207,08

Berdasarkan Tabel III. dapat dilihat bahwa hasil perbandingan hasil *output fuzzy* dari alat penetas telur, simulasi Matlab dan perhitungan manual mempunyai hasil yang tidak jauh berbeda yaitu dengan nilai PWM sebesar 116, 118 dan 118,64 untuk *output* lampu dan nilai PWM sebesar 206, 208 dan 207,08 untuk *output* kipas. Perbedaan hasil *output fuzzy* dikarenakan adanya faktor pembulatan oleh sistem, baik itu pada alat penetas telur maupun pada simulasi Matlab.

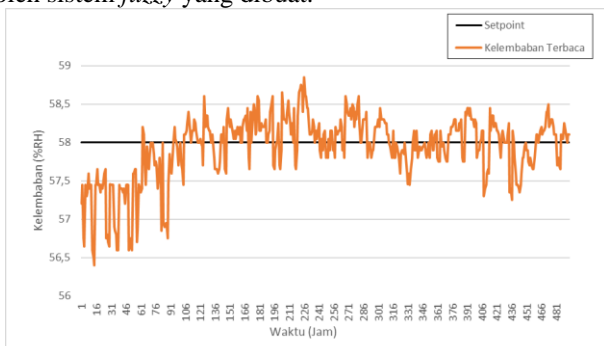
Kebutuhan suhu dan kelembapan pada alat penetas telur untuk proses penetasan telah berhasil dipenuhi oleh sistem yang dibuat yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Pengambilan data dilakukan setiap satu jam sekali selama 21 hari dan menghasilkan suhu dan kelembapan yang baik sesuai dengan kebutuhan penetasan telur. Sensor DHT22 yang terpasang pada ruang penetas menunjukkan hasil pengukuran suhu dan kelembapan yang baik dengan hasil yang tidak jauh berbeda. Kemudian hasil suhu dan kelembapan yang terbaca akan dibandingkan dengan *setpoint* suhu dan kelembapan yang digunakan.



Gambar 11. Grafik perubahan suhu selama proses penetasan

Selama proses penetasan, *aktuator* lampu secara efektif mampu untuk menurunkan atau menaikkan suhu sesuai

dengan *setpoint*, sehingga kebutuhan suhu dapat tercapai oleh sistem *fuzzy* yang dibuat.



Gambar 12. Grafik perubahan kelembapan selama proses penetasan

Selama proses penetasan, aktuator kipas bekerja efektif untuk menurunkan atau menaikkan kelembapan agar sesuai dengan *setpoint*. Hal ini dikarenakan aktuator kipas yang

digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan pada perencanaan awal. Pada pengaplikasiannya kebutuhan kelembapan dapat tercapai dan masih berada dalam batas atas dan batas bawah pengaturan sistem *fuzzy* yang dibuat.

**B. Hasil Pengujian Suhu dan Kelembapan**

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sensor DHT22 dalam mendeteksi dan mengukur suhu dan kelembapan pada alat penetas telur. Dengan membandingkan hasil pengujian pengukuran sensor DHT22 dengan *Hygro-Thermostat* sebagai alat standar laboratorium, maka didapatkan nilai akurasi dan tingkat kesalahan (*error*) dari sensor DHT22 yang digunakan. Tabel IV merupakan hasil perbandingan nilai akurasi dan tingkat kesalahan (*error*) antara sensor DHT22 dengan *Hygro-Thermostat*.

TABEL IV  
HASIL PENGUJIAN SENSOR SUHU DAN KELEMBAPAN DHT22 DAN HIGRO-THERMOSTAT

Pengukuran Ke-	DHT22		Hygro-Thermostat		Error (%)		Akurasi	
	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)	Suhu (°C)	Kelembapan (%RH)
1	30,8	59	31	60	0,65	1,67	99,35	98,33
2	30,9	60	31	60	0,32	0,00	99,68	100,00
3	31	60	31,1	61	0,32	1,64	99,68	98,36
4	31	61	31,2	62	0,64	1,61	99,36	98,39
5	31,2	62	31,2	62	0,00	0,00	100,00	100,00
6	31,3	62	31,5	63	0,63	1,59	99,37	98,41
7	31,4	63	31,6	65	0,63	3,08	99,37	96,92
8	31,6	64	31,9	65	0,94	1,54	99,06	98,46
9	31,8	65	32,2	66	1,24	1,52	98,76	98,48
10	32	65	32,3	67	0,93	2,99	99,07	97,01
11	32,1	66	32,3	68	0,62	2,94	99,38	97,06
12	32,5	67	32,7	68	0,61	1,47	99,39	98,53
13	32,7	68	33,1	69	1,21	1,45	98,79	98,55
14	33	68	33,2	70	0,60	2,86	99,40	97,14
15	33,2	69	33,5	70	0,90	1,43	99,10	98,57
16	33,5	70	33,6	71	0,30	1,41	99,70	98,59
17	33,8	70	34	73	0,59	4,11	99,41	95,89
18	34,1	70	34,3	73	0,58	4,11	99,42	95,89
19	34,3	71	34,5	73	0,58	2,74	99,42	97,26
20	34,5	72	34,6	74	0,29	2,70	99,71	97,30
<b>Jumlah</b>					<b>12,58</b>	<b>40,86</b>	<b>1.987,42</b>	<b>1.959,14</b>
<b>Nilai Rata-Rata</b>					<b>0,63</b>	<b>2,04</b>	<b>99,37</b>	<b>97,96</b>

Berdasarkan Tabel IV persentase nilai rata-rata *error* dan nilai rata-rata akurasi dari hasil uji pengukuran suhu dan kelembapan oleh DHT22 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\%Error = \frac{Nilai\ Aktual - Nilai\ Terbaca}{Nilai\ Aktual} \times 100\% \quad (1)$$

$$Rata-rata\ error = \frac{Jumlah\ Error\ \%}{Jumlah\ Data} \quad (2)$$

$$Akurasi = 100\% - rata-rata\ error \quad (3)$$

Dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata *error* dan akurasi dari sensor suhu adalah 0,63% dan 99,37%, sedangkan nilai *error* dan akurasi dari sensor kelembapan adalah 2,04% dan 97,96%.

**C. Hasil Pengujian Pemutaran Rak Telur**

Pengujian pemutaran rak telur digunakan untuk mengetahui kinerja motor AC dan RTC dalam pengaturan putaran telur sesuai waktu yang diberikan. Pada penelitian ini, setiap rak dibuat pengaturan waktu putaran telur yang berbeda yaitu setiap 3 jam dan 4 jam. Pada hari ke-1 sampai dengan hari ke-18 pengaturan pemutaran rak telur aktif. Kemudian pada hari ke-19 sampai dengan hari ke-21 kondisi telur telah siap menetas sehingga pengaturan pemutaran rak telur tidak diaktifkan, agar telur dapat

menetas tanpa gangguan. Hasil pengujian pemutaran rak telur ditunjukkan pada Tabel V dan Tabel VI.

TABEL V  
HASIL PENGUJIAN PEMUTARAN RAK TELUR PADA RAK ATAS (3 JAM SEKALI)

No.	Waktu	Rancangan Posisi Telur	Hasil Pengujian
1	07.00	180°CW	180°CW
2	10.00	180°CCW	180°CCW
3	13.00	180°CW	180°CW
4	16.00	180°CCW	180°CCW
5	19.00	180°CW	180°CW
6	22.00	180°CCW	180°CCW
7	01.00	180°CW	180°CW
8	04.00	180°CCW	180°CCW

TABEL VI  
HASIL PENGUJIAN PEMUTARAN RAK TELUR PADA RAK BAWAH (4 JAM SEKALI)

No.	Waktu	Rancangan Posisi Telur	Hasil Pengujian
1	07.00	180°CW	180°CW
2	11.00	180°CCW	180°CCW
3	15.00	180°CW	180°CW
4	19.00	180°CCW	180°CCW
5	23.00	180°CW	180°CW
6	03.00	180°CCW	180°CCW

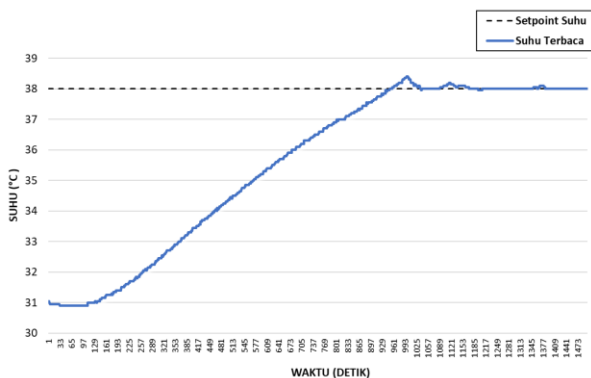
Keterangan:

CW (*Clockwise*) = searah jarum jam

CCW (*Counterwise*) = berlawanan arah jarum jam

Berdasarkan Tabel V dan VI diatas dapat disimpulkan bahwa hasil pemutaran rak telur berjalan dengan baik, meskipun dalam proses pemutaran rak tidak sempurna karena terdapat kendala pada roda yang digunakan untuk menggerakkan rak telur macet atau seret pada awal sistem bekerja. Hal ini dikarenakan adanya kesalahan pada pemasangan rak telur yang tidak sesuai dengan posisi seharusnya. Namun selama pengujian, putaran rak telur bekerja dengan baik sesuai dengan waktu yang diberikan.

D. Pengujian Respon Sistem



Gambar 13. Grafik Respon Sistem Suhu Alat Penetas Telur Menuju Setpoint 38°C

Tujuan dari pengujian respon sistem adalah untuk mengetahui keadaan dari sistem kendali yang digunakan saat alat penetas telur beroperasi dan melihat apakah

sistem dapat dengan baik menjaga kondisi suhu dan kelembapan sesuai dengan pengaturan yang diinginkan.

TABEL VII  
ANALISIS RESPON SISTEM TRANSIEN SUHU

Delay Time (detik)	Rise Time (detik)	Overshoot (%)	Peak Time (detik)	Settling Time (detik)	Error Steady State (%)
513	622	1,053	997	1127	0,132

Perubahan suhu pada Gambar 13. diambil pada hari pertama pengujian, dimana untuk pertama kalinya sistem fuzzy yang dibuat dijalankan dengan sumber pemanas lampu 100watt dan suhu awal 31,05°C dapat mencapai setpoint 38°C dalam waktu 950 detik. Sementara itu untuk mencapai keadaan naik (*rise time*) dan mencapai suhu tertinggi (*peak time*) sistem membutuhkan waktu 622 detik dan 997 detik. Nilai maksimum overshoot yang dihasilkan sebesar 1,053%. Hasil perhitungan respon sistem didapat dari perhitungan manual dan perubahan hasil output suhu terhadap waktu melalui simulasi matlab (lihat Gambar 14).

Berikut ini rincian karakteristik sistem kendali suhu yang telah dirancang.

- 1) *Delay Time* (Td) adalah waktu tunda yang dibutuhkan sistem mulai dari t = 0 detik hingga respon mencapai 50% dari nilai keadaan tunak (38°C) yaitu 513 detik.
- 2) *Rise Time* (Tr) adalah waktu naik yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 10% sampai dengan 90%, diukur dari t = 0 detik sampai respon melintasi nilai steady state (38°C) yang pertama yaitu 622 detik.
- 3) *Overshoot* (Mp) atau lewatan maksimum yang merupakan nilai puncak maksimum dari respon yang melampaui nilai keadaan tunak (38°C) yaitu 38,4°C.

$$Overshoot = \frac{38,4 - 38}{38} \times 100\% = 1,053\%$$

- 4) *Peak Time* (Tp) adalah waktu puncak pada sistem (diukur dari t = 0 detik) hingga respon mencapai puncak pertama (38,4°C) yaitu 997 detik.
- 5) *Settling Time* (Ts) adalah waktu penetapan yang dibutuhkan sistem untuk mencapai nilai respon 5% atau 2% atau 0,5% pada keadaan tunak (38°C) yaitu 38,14 pada waktu 1127 detik.

$$\frac{2}{100} \times 6,95 = 0,138$$

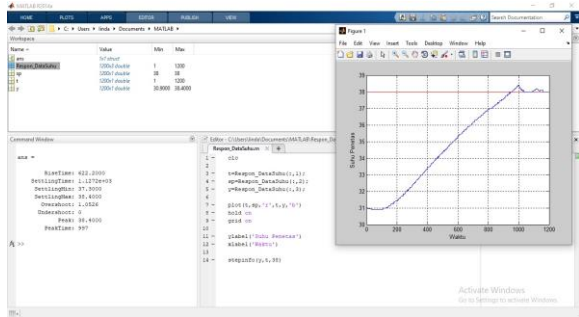
$$Settling Time = 38 + 0,138 = 38,14$$

- 6) *Error Steady State* (Ess) Perhitungan nilai error steady state adalah sebagai berikut:

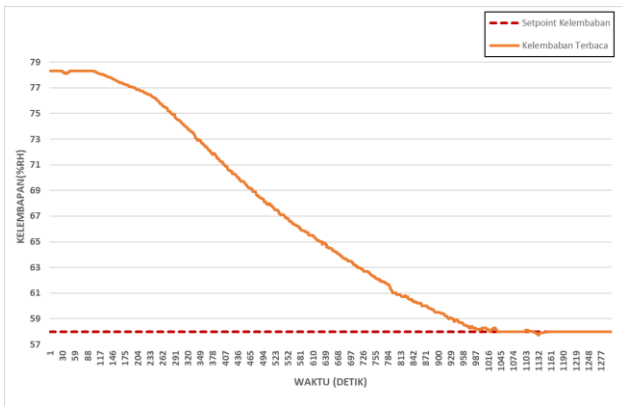
$$Error Steady State = \frac{Nilai Setpoint - Nilai Steady State}{Nilai Setpoint} \times 100\% = \frac{38 - 37,95}{38} \times 100\% = 0,132\%$$

Data perubahan kelembapan pada Gambar 15 diambil pada hari pertama ketika sistem fuzzy mulai dijalankan. Kelembapan awal dari ruang penetas telur yaitu 76,5%RH yang dihasilkan dari sumber kipas DC sebagai aktuaternya. Kelembapan mencapai setpoint 58%RH dalam waktu 1018 detik. Sementara itu, untuk mencapai keadaan naik (*rise time*) dan mencapai suhu tertinggi

(peak time) sistem membutuhkan waktu 627 detik dan 917 detik (lihat Tabel VIII). Nilai maksimum overshoot yang dihasilkan sebesar 0,517%. Berdasarkan jurnal, berikut ini rincian karakteristik sistem kendali kelembapan yang telah dirancang. Hasil simulasi matlab respon sistem kelembapan dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 14. Hasil simulasi matlab respons sistem suhu



Gambar 15. Grafik respons waktu hasil fuzzy terhadap kenaikan kelembapan dalam ruang penetas telur

TABEL VIII  
ANALISIS RESPON SISTEM TRANSIEN KELEMBAPAN

Delay Time (detik)	Rise Time (detik)	Overshoot (%)	Peak Time (detik)	Settling Time (detik)	Error Steady State (%)
497	627	0,517	917	966	0,172

- 1) *Delay Time* ( $T_d$ ) atau waktu tunda yang dibutuhkan oleh sistem yang diukur mulai dari  $t = 0$  detik hingga respon mencapai 50% dari nilai *steady state* (58%RH) yaitu 497 detik.
- 2) *Rise Time* ( $T_r$ ) atau waktu naik yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai 10%-90% yang diukur mulai dari  $t = 0$  detik hingga respon memotong sumbu *steady state* (58%RH) yang pertama yaitu 627 detik.
- 3) *Overshoot* ( $M_p$ ) atau lewatan maksimum yang merupakan nilai puncak maksimum dari respon yang

melampaui nilai *steady state* (58%RH) yaitu 58,3%RH.

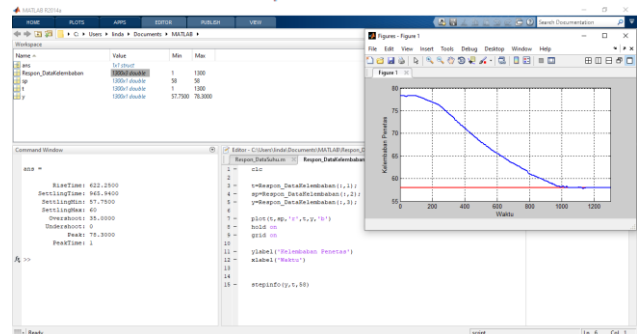
$$Overshoot = \frac{58,3 - 58}{58} \times 100\% = 0,517\%$$

- 4) *Peak Time* ( $T_p$ ) atau waktu puncak yang dibutuhkan oleh sistem yang diukur mulai dari  $t = 0$  detik hingga respon mencapai puncak pertama kali yaitu 58,3%RH pada waktu 917 detik.
- 5) *Settling Time* ( $T_s$ ) atau waktu penetapan yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai nilai respon telah masuk 2% dari respon *steady state* yaitu 966 detik.
- 6) *Error Steady State* ( $E_{ss}$ )  
Berikut ini adalah perhitungan dari nilai *error steady state*:

$$Error\ Steady\ State = \frac{Nilai\ Setpoint - Nilai\ Steady\ State}{Nilai\ Setpoint} \times 100\%$$

$$= \frac{58,1 - 58}{58} \times 100\%$$

$$= 0,172\%$$



Gambar 16. Hasil simulasi matlab respon sistem kelembapan

E. Pengujian Penetasan Telur



Gambar 17. Pengujian penetasan telur

Efektivitas penggunaan alat penetas telur dapat dilihat dari persentase hasil pengujian penetasan telur. Uji coba penetasan telur ayam dilakukan sebanyak 1 kali selama 21 hari untuk menguji kinerja dari alat penetas telur yang dibuat. Hasil uji penetasan telur ditunjukkan pada tabel berikut ini.



TABEL IX  
PENGUJIAN HASIL PENETASAN TELUR

Pengujian Ke-	Bagian Rak	Jumlah telur yang ditetaskan	Telur menetas	Telur tidak menetas	Kondisi Anak Ayam		Daya Tetas (%)
					Normal	Mati	
1	Atas	25	23	2	23	0	92%
	Bawah	25	21	4	20	0	84%
Rata-Rata Daya Tetas					43	0	88%

Berdasarkan Tabel IX dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian penetasan telur memiliki persentase daya tetas sebesar 88% dari 50 butir telur fertil yang ditetaskan pada rak atas dan bawah dengan masing-masing rak sebanyak 25 butir telur. Dimana pengujian penetasan telur pada rak atas dengan variasi waktu putaran rak telur setiap 3 jam sekali memiliki persentase daya tetas sebesar 92% sedangkan pengujian penetasan telur pada rak bawah dengan variasi waktu putaran rak telur setiap 4 jam sekali memiliki persentase daya tetas sebesar 84%. Proses penetasan telur dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Proses penetasan telur

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian penetasan telur pada rak atas dengan variasi waktu putaran rak telur setiap 3 jam sekali lebih efektif daripada pengujian penetasan telur pada rak bawah dengan variasi waktu putaran rak telur setiap 4 jam sekali. Hal ini dapat dibuktikan dari persentase hasil pengujian penetasan telur pada rak atas lebih tinggi dari rak bawah.



Gambar 19. Hasil penetasan telur

### V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sebuah alat penetas telur otomatis dengan sistem kecerdasan yaitu

menggunakan algoritma *fuzzy logic mamdani* untuk mengendalikan suhu dan kelembapan di dalam ruang penetas telur. Pengaturan suhu dan kelembapan menggunakan sistem *fuzzy* mampu mempertahankan suhu dan kelembapan sesuai dengan *set point* yang diberikan yaitu 37-39°C dan 55-60%RH. Komponen utama alat ini antara lain ESP32, sensor DHT22, modul *dimmer*, RTC DS3231, *relay*, motor AC sinkron dan *driver motor* L298N. Pada penelitian ini didapatkan hasil kalibrasi pengujian sensor DHT22 dengan *Hygro-thermostat* yang memiliki nilai *error* rata-rata suhu dan kelembapan sebesar 0,52% dan 2,04% serta nilai akurasi sebesar 99,48% dan 97,96%. Pengujian penetasan telur menggunakan alat penetas memiliki persentase tingkat keberhasilan sebesar 88% dari 50 telur yang ditetaskan dengan masing-masing rak terdiri dari 25 telur. Dimana hasil pengujian penetasan pada rak atas dengan pemutaran rak telur 3 jam sekali memiliki persentase tingkat keberhasilan penetasan telur sebesar 92%, sedangkan hasil pengujian penetasan pada rak bawah dengan pemutaran rak telur 4 jam sekali memiliki persentase tingkat keberhasilan penetasan telur sebesar 84%. Untuk mencapai *setpoint* suhu dan kelembapan yang diinginkan, sistem membutuhkan waktu selama 17 menit.

### REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, *Peternakan Dalam Angka 2020*, Badan Pusa. © BPS-RI/BPS-Statistics Indonesia, 2020.
- [2] G. Rosita, L. N. Prawesti, U. Fadlilah, and Y. L. R. E. Nugrahini, "Pengembangan Potensi Ayam Lokal untuk Menunjang Ketahanan Pangan Di Era New Normal Covid-19," *Pros. Semin. Nas. Fak. Pertan. UNS*, vol. 4, no. 1, pp. 452-460, 2020.
- [3] M. T. Udawaththa, A. Adikari, and ..., "Effect of multi-stage incubator types on hatchability and chick quality of broiler chicken," *Wayamba J. ...*, no. 1533274662, pp. 1737-1742, 2018, [Online]. Available: <https://wayambajournal.com/documents/1533274662.pdf>.
- [4] C. Yusuf, D. I. Saputra, J. Terusan, J. Sudirman, P. O. Box, and K. Cimahi, "Optimasi Kendali Suhu pada Sistem Nirkabel Penetasan Telur Berbasis PI dan PI Anti Windup," *J. Otomasi, Kontrol Instrumentasi*, vol. 12, no. 2, pp. 79-101, 2020.
- [5] S. Shafiudin and N. Kholis, "Sistem Monitoring dan Pengontrolan Temperatur pada Inkubator Penetas Telur Berbasis PID," *J. Tek. Elektro*, vol. 06, pp. 175-184, 2017.
- [6] F. Ardiansyah, M. F. Lawasi, and C. F. Hadi, "Sistem Monitoring Inkubator Penetas Telur Berbasis Android," *ZETROEM*, vol. 01, pp. 8-16, 2019.
- [7] N. D. Riswara and R. S. R. Sirait, "Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Proses Penetasan Telur Pada Inkubator Menggunakan Telemetry," *Maestro*, vol. 4, no. 2, pp. 249-259, 2021, [Online]. Available: <https://jom.ft.budiluhur.ac.id/index.php/maestro/article/view/515%0Ahttps://jom.ft.budiluhur.ac.id/index.php/maestro/article/download/515/222>.

- [8] F. Kyeremeh and F. Peprah, "Design and Construction of an Arduino Microcontroller-based EGG Incubator," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 168, no. 1, pp. 15–23, 2017, doi: 10.5120/ijca2017914261.
- [9] E. M. Hasiri, Aniati, and M. Diadi, "Prototype Steam Heater Otomatis pada Alat Penetas Telur Menggunakan Atmega 2560," *J. Inform.*, vol. 9, no. 1, 2018.
- [10] P. Dutta and N. Anjum, "Optimization of Temperature and Relative Humidity in an Automatic Egg Incubator Using Mamdani Fuzzy Inference System," *Int. Conf. Robot. Electr. Signal Process. Tech.*, pp. 12–16, 2021, doi: 10.1109/ICREST51555.2021.9331155.
- [11] P. T. Prasetyaningrum *et al.*, *Penerapan Metode Logika Fuzzy Tsukamoto untuk Memprediksi Pemasaran Omah Jamu*. D.I. Yogyakarta: MBridge Press, 2020.
- [12] B. Setia, "Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Cerdas," *J. Sist. Cerdas*, vol. 2, no. 1, pp. 61–66, 2019, doi: 10.37396/jsc.v2i1.18.
- [13] L. D. Mustafa, M. Junus, and R. H. Yoga, "Desain dan Implementasi Kontrol Suhu Menggunakan Logika Fuzzy pada Mesin Penetas Telur Burung Lovebird," *J. ELTEK*, vol. 15, no. 02, pp. 169–187, 2017.
- [14] S. N. Mustika, A. Nurhandayani, D. Lestari, A. Fitriani, and R. A. Asmara, "Implementation of Fuzzy Logic in Temperature Control Automation Start Phase Quail Brooder," *ICEEIE 2019 - Int. Conf. Electr. Electron. Inf. Eng. Emerg. Innov. Technol. Sustain. Futur.*, pp. 101–105, 2019, doi: 10.1109/ICEEIE47180.2019.8981407.
- [15] I. N. Lestari, E. Mulyana, and R. Mardi, "The implementation of mamdani's fuzzy model for controlling the temperature of chicken egg incubator," *Proc. - 2020 6th Int. Conf. Wirel. Telemat. ICWT 2020*, 2020, doi: 10.1109/ICWT50448.2020.9243647.
- [16] A. J. Rindengan and Y. A. R. Langi, *Sistem Fuzzy*. Bandung: CV. Patra Media Grafindo, 2019.