

## Rancang Bangun Prototipe *Dry Bath Incubator* dengan Pengendali Logika Fuzzy Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Saeful Bahri \*, Muhammad Pasya Mutawakkil <sup>2</sup>

<sup>\*,2</sup> Jurusan Teknik Elektro/Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Indonesia

\* saeful.bahri@umj.ac.id <sup>2</sup> 22040270001@student.umj.ac.id

### Abstrak

*Dry Bath Incubator* merupakan alat penting di laboratorium yang digunakan untuk inkubasi mikrob. Kegiatan yang membutuhkan suhu stabil. Penerapan Logika Fuzzy memungkinkan pengendalian suhu yang stabil dengan kesalahan keadaan tunak yang rendah. Sedangkan kelebihan integrasi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara real-time, meningkatkan efisiensi pengguna. Metodologi penelitian mencakup perancangan sistem kendali Logika Fuzzy, implementasi pada mikrokontroler ESP32. Pengujian performa alat berupa respons sistem kendali dan konektivitas IoT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai target suhu dengan waktu naik yang cepat, overshoot minimal, kesalahan keadaan tunak < 2%, dan mampu dikendalikan dengan baik melalui platform Blynk. Kesimpulannya, sistem ini efektif dalam mengendalikan suhu *Dry Bath Incubator* dengan respons sistem yang baik dan menawarkan fleksibilitas melalui kontrol jarak jauh berbasis IoT.

**Kata Kunci**– *Dry Bath Incubator*; Logika Fuzzy; *Internet of Things* (IoT)

### Abstract

*The Dry Bath Incubator* is an important tool in the laboratory used for microbial incubation. Activities that require stable temperatures. The application of Fuzzy Logic allows stable temperature control with low steady-state errors. The advantages of *Internet of Things* (IoT) integration include real-time remote monitoring and control, and increasing user efficiency. The research methodology provides for the design of a Fuzzy Logic control system, implementation on an ESP32 microcontroller. Testing the performance of the tool in the form of control system response and IoT connectivity. The test results show that the system can achieve the target temperature with a fast rise time, minimal overshoot, steady-state error of < 2%, and can be controlled well through the Blynk platform. In conclusion, this system is effective in controlling the temperature of the *Dry Bath Incubator*, has a good system response, and offers flexibility through IoT-based remote control.

## 1 PENDAHULUAN

Mikrob atau mikroorganisme merupakan organisme mikroskopis yang terdiri dari satu sel, sekelompok sel, atau organisme multi sel yang relatif kompleks. Mikrob berbahaya karena dapat menginfeksi dan tumbuh pada mikrob lainnya, bahkan menyebabkan penyakit yang dapat membunuh manusia, hewan, dan tumbuhan [1].

Proses identifikasi mikrob perlu dilakukan untuk mengetahui keberadaan dan jenis mikrob. Identifikasi memungkinkan tindakan pengendalian yang cepat, guna menangani penyebaran penyakit. Tes deteksi dibantu dengan alat yang efisien dan stabil, sangat berguna khususnya di wilayah endemis wabah [2].

Dalam proses identifikasi mikrob memerlukan inkubator, yaitu alat yang digunakan untuk menghasilkan suhu inkubasi yang diperlukan mikrob [3].

*Dry Bath Incubator* adalah alat penting di laboratorium untuk inkubasi mikrob. *Dry Bath*

*Incubator* menghasilkan suhu tinggi dan konstan yang dibutuhkan untuk reaksi kimia selama proses inkubasi [4], [5]. Suhu sangat mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikrob. Pada suhu rendah pertumbuhan mikrob akan terhambat, sedangkan pada suhu tinggi pertumbuhan mikrob akan lebih cepat [6]. Sedangkan suhu yang tidak teratur dapat menyebabkan pertumbuhan mikrob yang tidak normal dan bahkan kematian mikrob, pada akhirnya akan mempengaruhi hasil penelitian [7]. Tantangan lain yang muncul adalah petugas harus berada di laboratorium untuk mengontrol dan memantau suhu secara langsung, yang menjadi kendala jika petugas tidak berada di tempat [8].

Diperlukan solusi berupa inkubator dengan sistem kendali suhu yang dapat memberikan respons yang stabil, yaitu menggunakan sistem kendali Logika Fuzzy. Karena mempunyai kelebihan seperti hasil kendali yang stabil dan nilai *error* yang rendah [9]. Perancangan sistem kendali Logika Fuzzy juga mudah dipahami karena tidak menggunakan

modeling matematika untuk mengendalikan sistem, pengambilan keputusan dilakukan pada algoritma yang tertanam pada sistem komputasi [10].

Rancang bangun inkubator dengan jenis portable pernah diteliti oleh Halla et al. Mereka membuat inkubator sebagai alat penunjang penelitian di laboratorium mikrobiologi. Inkubator tersebut dilengkapi dengan pengatur suhu dan tampilan LCD [11]. Meskipun alat tersebut dapat mengembang biakkan mikroba melalui proses inkubasi, namun pemanas yang digunakan adalah lampu pijar yang menghasilkan panas tidak merata. Sehingga pertumbuhan mikroba tidak merata pula.

Ruhyana et al. melakukan penelitian pembuatan rancang bangun *Dry Bath Incubator* dengan kendali PID metode Ciancone. Dimana penelitian ini efektif menghasilkan panas pada suhu 60 °C. Sistem tersebut menghasilkan *overshoot* 3,33% waktu naik 57 detik dan waktu tunak selama 347 detik. Secara umum kinerja sistem kendali bekerja sesuai dengan harapan tapi diperlukan pengembangan sistem kendali yang mampu menghasilkan respons mencapai kondisi tunak yang lebih cepat [12].

Penelitian kendali suhu menggunakan Logika Fuzzy dilakukan oleh Ikhsan et al. Mengungkapkan kendali Logika Fuzzy mencapai suhu pengaturan 38 °C dari suhu awal 31 °C menghasilkan waktu naik 622 detik, waktu tunak 1127 detik, kesalahan keadaan tunak 0,132%, dan *overshoot* 1,053% [13]. Pada penelitian lain, dilakukan oleh Radi et al. Penelitian tersebut diberikan suhu yang bervariasi secara konstan, dari suhu awal 50 °C menjadi 100 °C, 150 °C, 200 °C, dan 250 °C. Hasil penelitian tersebut menunjukkan sistem kendali dapat mengejar target suhu yang ditentukan. Nilai waktu naik yang didapat mulai dari 136,73 detik hingga 158,88 detik, waktu tunak mulai dari 235,08 detik hingga 318,25 detik, dan *overshoot* 1,3% [14]. Kobersi et al. juga melakukan penelitian menggunakan Logika Fuzzy untuk menjaga suhu ruang dalam rentang yang diperlukan dengan menentukan suhu maksimum dan minimum. Kendali tersebut menghasilkan *overshoot* sebesar 1% [15].

Brand peralatan lab, Thermo Fisher Scientific juga memproduksi *Dry Bath Incubator*. Alat ini mampu menghasilkan panas mulai dari suhu ruang +5 °C hingga 130 °C. Untuk dapat mencapai suhu stabil memerlukan waktu selama 30 menit [16]. Alat ini juga tidak dilengkapi sistem IoT sehingga pengguna harus berhadapan langsung dengan alat untuk mengoperasikannya.

Pemantauan dan pengendalian inkubator dari jarak jauh dapat memanfaatkan keberadaan teknologi IoT. Memastikan kondisi inkubasi mikroba berjalan secara optimal yang menghubungkan

pengguna dengan inkubator melalui jaringan internet. Konsep yang dapat membuat berbagai perangkat dapat saling berinteraksi [17]. Karena popularitas yang semakin meningkat, IoT menjadi konsep unggul sebagai perangkat komunikasi, terutama pada bidang biomedis [18], [19].

Diperlukan *platform* IoT yang sistemnya mudah dibangun oleh *developer*, dapat dioperasikan dengan mudah oleh pengguna berdasarkan sistem pemantauan dan pengendalian. Serta waktu tunda dan kesalahan pengiriman data yang kecil. *Platform* yang dapat digunakan pada sistem IoT adalah Blynk.

Berdasarkan penelitian Artiyasa et al. dan Agnesia et al. Pembangunan sistem pada *platform* Blynk, *developer* perlu memiliki pengetahuan dasar pemrograman, jaringan, dan data untuk membangun sistem IoT [20]. Blynk menyediakan fitur pemantauan dalam bentuk grafik maupun angka. Blynk memungkinkan pengguna mengendalikan sistem langsung melalui *platform* dengan *widget* yang disediakan [20].

Pengiriman data pada sistem IoT sangat penting untuk pemantauan dan kendali. *Platform* Blynk memiliki kesalahan pengiriman data yang sangat kecil karena dapat mengirim dan menerima data per detik, sehingga hampir semua data yang dikirimkan dapat diterima tanpa dipengaruhi oleh interval pengiriman [21].

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan menguji sistem kendali Logika Fuzzy pada *Dry Bath Incubator* yang mampu mencapai performa optimal dalam mengendalikan suhu untuk proses inkubasi mikroba. Serta mempertimbangkan efektivitas dan efisiensi kendali jarak jauh melalui teknologi IoT untuk meningkatkan kinerja pengguna.

## 2 METODE PENELITIAN

Logika Fuzzy adalah alat matematis untuk mengatasi ketidakpastian, menggunakan nilai kebahasaan seperti variabel suhu adalah dingin, hangat, dan panas. Ini meniru cara berpikir manusia dengan mempertimbangkan semua kemungkinan antara 1 dan 0, bukan hanya nilai mutlak. Karena tidak fokus pada satu hasil, Logika Fuzzy memberikan toleransi terhadap ketidakpastian [22]–[24].

Terdapat beberapa istilah dalam pemodelan Logika Fuzzy, diantaranya adalah:

1. Variabel Fuzzy, yaitu parameter yang digunakan dalam sistem Fuzzy, seperti perubahan suhu.
2. Himpunan Fuzzy, yaitu himpunan yang membagi kondisi ke dalam variabel Fuzzy. Misalnya adalah panas, hangat, dan dingin.
3. Fungsi keanggotaan, yaitu grafik yang memberitahukan hubungan himpunan Fuzzy

dengan nilai keanggotaan dalam rentang 0 sampai 1 [25].

Dalam mengimplementasikan Logika Fuzzy terdapat beberapa proses yang harus dilakukan, yaitu:

1. *Fuzzification* adalah proses mengubah variabel input menjadi variabel Fuzzy, yang didefinisikan sebagai himpunan Fuzzy. Terdiri dari kurva keanggotaan yang menunjukkan tingkat keanggotaan variabel input terhadap himpunan tersebut.
2. *Inferential Fuzzy* adalah tahap penerapan aturan Fuzzy untuk menghasilkan variabel output Fuzzy. Aturan Fuzzy terdiri dari premis dan konklusi. Dimana premis adalah kondisi variabel input dan konklusi adalah variabel output.
3. *Defuzzification* adalah tahap mengubah variabel output Fuzzy menjadi nilai numerik. Dengan cara menentukan pusat kurva keanggotaan variabel output Fuzzy yang terpilih [26], [27].

Respons sistem kendali ideal mampu mencapai kondisi yang diharapkan dalam waktu singkat dan mempertahankannya dalam jangka waktu yang lama. Perubahan respons sistem atau kesalahan juga diharapkan sekecil mungkin. Beberapa hal yang diperhatikan dalam menanggapi respons sistem kendali sebagai berikut:

1. Waktu naik (*rise time*)

Waktu naik merupakan waktu yang dibutuhkan agar respons meningkat dari 10% menjadi 90% dari yinit ke yfinal. Menentukan kondisi waktu naik dapat diketahui dengan persamaan 1 dan 2.

$$rt(10\%) = (y_{final} - y_{init}) \times 10\% \quad (1)$$

$$rt(90\%) = (y_{final} - y_{init}) \times 90\% \quad (2)$$

2. Overshoot

*Overshoot* merupakan nilai yang melampaui batas dari nilai *set point* yang diharapkan. Untuk menghitung persentase nilai *overshoot* terdapat pada persamaan 3.

$$OS\% = \left| \frac{y_{peak} - y_{final}}{y_{final}} \right| \times 100 \quad (3)$$

3. Waktu tunak (*settling time*)

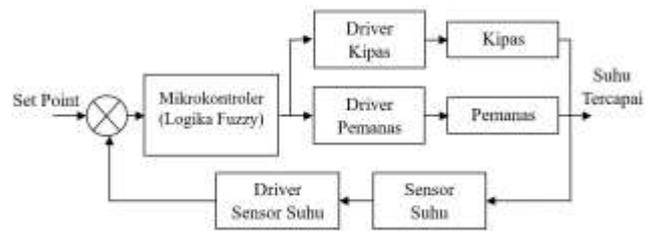
Waktu tunak yaitu waktu yang dibutuhkan respons sistem tetap berada pada *set point* dalam rentang persentase sebesar 2%.

4. Keadaan tunak (*steady state*)

Keadaan tunak yaitu kondisi respons sistem telah mencapai nilai konstan dan stabil setelah respons transient selesai. Untuk menghitung kesalahan keadaan tunak dari sebuah sistem dapat mengikuti persamaan 4 dan persamaan 5.

$$ESS = y_{final} - y_{ss} \quad (4)$$

$$ESS(\%) = \left| \frac{ESS}{y_{final}} \right| \times 100 \quad (5)$$



Gambar 1: Blok Diagram Logika Fuzzy

Sistem kendali yang diterapkan pada *Dry Bath Incubator* memiliki karakteristik sistem dengan umpan balik (*close loop*). Sistem dapat membandingkan output aktual dengan output yang diharapkan. Kemudian mengendalikan input agar kesalahan sekecil mungkin, sehingga sistem dapat mencapai dan mempertahankan kinerja yang diinginkan. Blok diagram umpan balik sistem kendali Logika Fuzzy *Dry Bath Incubator* terdapat pada Gambar 1.

Sistem kendali *Dry Bath Incubator* pada penelitian ini menggunakan sistem kendali Logika Fuzzy yang dioperasikan pada mikrokontroler ESP32. Agar mendapatkan suhu yang tinggi, alat ini menggunakan pemanas berupa *heater block* dan memanfaatkan *Thermocouple Type-K* untuk mengetahui suhu yang dihasilkan. Sensor suhu ini yang juga berfungsi sebagai umpan balik. Alat ini juga dilengkapi kipas yang berfungsi untuk membantu menurunkan suhu apabila melebihi dari pengaturan yang diberikan.

Input Logika Fuzzy pada *Dry Bath Incubator* berupa *set point* suhu dengan jangkauan suhu ruang hingga suhu pengaturan maksimal, yaitu 97 °C. Fungsi keanggotaan input terdiri dari suhu, dimana memiliki anggota yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Output sistem kendali Logika Fuzzy untuk mengatur pemanas berupa nilai PWM dengan rentang 0-54 dibagi menjadi 3 fungsi keanggotaan, yaitu panas, lumayan panas, dan sangat panas.

Sistem yang diterapkan memiliki dua input dan dua output. Input terdiri dari variabel sensor suhu dan variabel target suhu. Sedangkan output tersusun dari variabel pemanas dan variabel kipas. Tabel 1 sampai Tabel 4 menjabarkan nilai yang digunakan pada variabel sensor suhu, target suhu, pemanas, dan kipas.

Tabel 1. Variabel sensor suhu.

Nama	Nilai (°C)
Awal1	[7 22 37]
Rendah	[22 37 52]

Awal2	[37 52 67]
Sedang	[52 67 82]
Awal3	[67 82 97]
Tinggi	[82 97 112]

Tabel 2. Variabel target suhu.

Nama	Nilai (°C)
Awal1	[7 22 37]
Rendah	[22 37 52]
Awal2	[37 52 67]
Sedang	[52 67 82]
Awal3	[67 82 97]
Tinggi	[82 97 112]

Tabel 3. Variabel pemanas.

Nama	Nilai (°C)
Panas	[0 0 0]
Lumayan Panas	[0 22 44]
Sangat Panas	[10 32 54]

Tabel 4. Variabel kipas.

Nama	Nilai (°C)
Hidup	[1 1 1]
Mati	[0 0 0]

Variabel sensor suhu dan variabel target suhu memiliki keanggotaan yang sama karena variabel sensor suhu harus dapat mencapai target suhu. Kedua variabel tersebut memiliki 6 keanggotaan, terdiri dari 3 keanggotaan utama yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Selain itu, 3 keanggotaan pendukung yaitu awal1, awal2, dan awal3. Variabel pendukung berfungsi untuk melakukan penyesuaian agar suhu pemanas dapat mencapai target suhu.

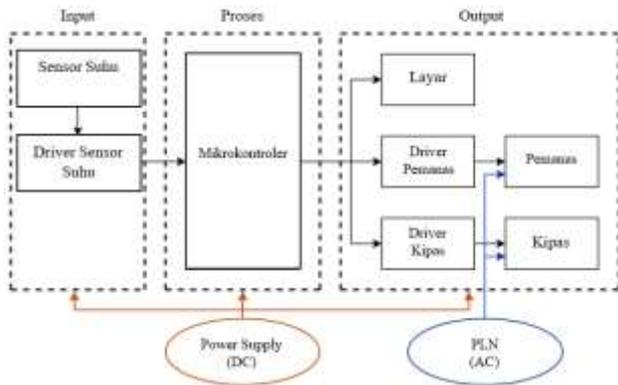
Setelah menentukan variabel Fuzzy, berikutnya adalah menentukan *rules Fuzzy*, yaitu berisi pernyataan Logika Fuzzy. Basis aturan Fuzzy berbentuk pernyataan jika-maka yang menyatakan kondisi. Penyusunan *rules Fuzzy* akan sangat berpengaruh dalam tahap pengambilan keputusan yang dilakukan oleh sistem kendali. *Rules Fuzzy Dry Bath Incubator* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Fuzzy rules.

No	Variabel			
	Input		Output	
	Sensor Suhu	Target Suhu	Pemanas	Kipas
1	Tinggi	Tinggi	Panas	Hidup
2	Awal3	Awal3	Panas	Hidup
3	Sedang	Sedang	Panas	Hidup
4	Awal2	Awal2	Panas	Hidup
5	Rendah	Rendah	Panas	Hidup
6	Awal1	Awal1	Panas	Hidup
7	Awal3	Tinggi	Lumayan Panas	Hidup
8	Sedang	Awal3	Lumayan Panas	Hidup
9	Awal2	Sedang	Lumayan Panas	Hidup
10	Rendah	Awal2	Lumayan Panas	Hidup
11	Awal1	Rendah	Lumayan Panas	Hidup
12	Sedang	Tinggi	Sangat Panas	Mati
13	Awal2	Awal3	Sangat Panas	Mati
14	Rendah	Sedang	Sangat Panas	Mati
15	Awal1	Awal2	Sangat Panas	Mati
16	Awal2	Tinggi1	Sangat Panas	Mati
17	Rendah	Awal3	Sangat Panas	Mati
18	Awal1	Sedang	Sangat Panas	Mati
19	Rendah	Tinggi	Sangat Panas	Mati
20	Awal1	Awal3	Sangat Panas	Mati
21	Awal1	Tinggi	Sangat Panas	Mati
22	Tinggi	Awal3	Panas	Hidup
23	Awal3	Sedang	Panas	Hidup
24	Sedang	Awal2	Panas	Hidup
25	Awal2	Rendah	Panas	Hidup
26	Rendah	Awal1	Panas	Hidup
27	Tinggi	Sedang	Panas	Hidup
28	Awal3	Awal2	Panas	Hidup
29	Sedang	Rendah	Panas	Hidup
30	Awal2	Awal1	Panas	Hidup
31	Tinggi	Awal2	Panas	Hidup
32	Awal3	Rendah	Panas	Hidup

No	Variabel			
	Input		Output	
	Sensor Suhu	Target Suhu	Pemanas	Kipas
33	Sedang	Awal1	Panas	Hidup
34	Tinggi	Rendah	Panas	Hidup
35	Awal3	Awal1	Panas	Hidup
36	Tinggi	Awal1	Panas	Hidup

### 1. Perancangan Elektronika



Gambar 2. Blok diagram elektronika.

Rancangan blok elektronika terdiri dari input, proses, dan output. Direpresentasikan pada Gambar 2.

Bagian input menggunakan sensor Thermocouple Type-K yang terhubung ke *driver* sensor suhu berupa MAX 6675 dan dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Sensor thermocouple menghasilkan tegangan analog berdasarkan perubahan suhu, yang kemudian dikonversi menjadi nilai digital oleh MAX 6675 untuk merepresentasikan nilai suhu sebenarnya.

ESP32 akan mengirimkan sinyal untuk memulai konversi ADC (*Analog to Digital Converter*) pada MAX 6675. Nilai tegangan output digital dari MAX 6675 akan dikirimkan kembali ke ESP32 menggunakan komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*). ESP32 akan membaca nilai digital tersebut dan mengubahnya menjadi nilai suhu.

Agar pengguna dapat dengan mudah mengoperasikan alat, *Dry Bath Incubator* dilengkapi layar dengan sistem HMI (*Human Machine Interface*) berupa LCD Nextion. Perangkat layar sentuh yang akan menampilkan pengaturan suhu, pengaturan waktu, waktu berjalan, dan yang paling penting adalah nilai suhu inkubasi. Komunikasi antara LCD Nextion dan ESP32 dapat berlangsung dua arah sehingga memungkinkan interaksi yang dinamis antara layar dan mikrokontroler.

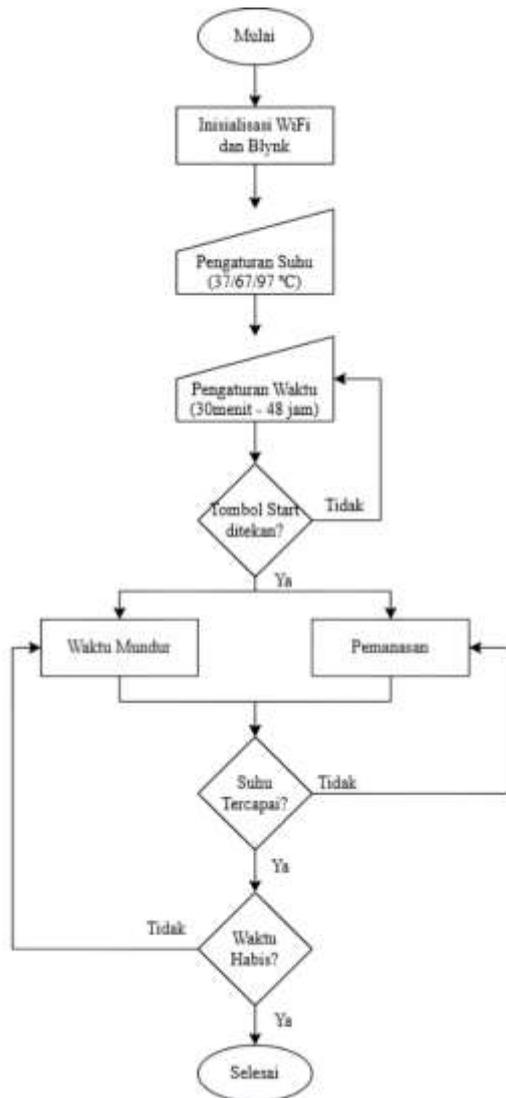
ESP32 mengendalikan suhu *heater block* dengan menggunakan *driver AC Light Dimmer*, karena ESP32 bekerja pada tegangan DC sementara blok pemanas menggunakan tegangan AC. *Driver* ini mengatur intensitas daya pemanas berdasarkan pulsa digital dari ESP32, mengontrol fase *dimming* untuk mengatur suhu pemanas.

Untuk mencegah *overshoot* suhu, alat ini dilengkapi dengan kipas yang akan aktif jika suhu melebihi target suhu dan mati saat pemanas bekerja. Kinerja pemanas dan kipas sesuai dengan *Fuzzy Rules*. Kipas bekerja pada tegangan AC sehingga perlu penghubung berupa *driver relay*, yang berfungsi sebagai saklar elektrik. Relay memiliki pin coil, com, NC, dan NO. Kipas tidak aktif saat pin com terhubung dengan NO. Ketika coil relay menerima sinyal digital dari ESP32, pin com terhubung dengan pin NC, memungkinkan tegangan mengalir dan kipas beroperasi.

### 2. Perancangan Diagram Alir

Sistem kerja *Dry Bath Incubator* digambarkan pada sebuah diagram alir. Pada posisi alat akan digunakan, maka berada pada simbol mulai. Setelah alat dinyalakan maka akan otomatis melakukan inisialisasi Wi-Fi yang telah diatur pada program Arduino IDE dan terhubung dengan Blynk. Selanjutnya pengguna dapat memasukkan nilai pengaturan suhu dan pengaturan waktu yang akan digunakan untuk inkubasi mikrob. Kegiatan ini dapat dilakukan pada alat secara langsung maupun melalui *smartphone* sebagai sistem IoT. Setelah pengaturan suhu dan pengaturan waktu telah selesai dilakukan, pengguna dapat menekan tombol *Start* untuk memulai proses inkubasi mikrob. *Dry Bath Incubator* akan mulai mengejar target pengaturan suhu terus-menerus sesuai dengan yang diharapkan dan waktu akan berjalan mundur sesuai pengaturan waktu yang telah diberikan. Pengguna dapat memantau pergerakan suhu melalui *smartphone* dan layar pada alat. Apabila waktu telah habis, maka proses inkubasi mikrob sudah selesai.

Pengaturan suhu inkubasi mikrob yang dapat diberikan adalah 37 °C, 67 °C, dan 97 °C. Sedangkan pengaturan waktu dapat diatur mulai dari 30 menit hingga 48 jam.



Gambar 3: Diagram alir Dry Bath Incubator

### 3. Perancangan Konektivitas IoT dan BLYNK

Dalam perancangan jaringan IoT pada *Dry Bath Incubator*, penelitian ini menggunakan ESP32 yang dapat terhubung dengan Wi-Fi. ESP32 memiliki fungsi ganda, dimana tidak hanya sebagai pengontrol antara perangkat input dan perangkat output, tetapi juga sebagai komponen yang menghubungkan alat dengan internet.

Setelah terhubung dengan internet, *Dry Bath Incubator* akan melakukan komunikasi data dengan BLYNK Cloud, platform IoT yang dapat digunakan untuk mengendalikan dan memantau perangkat IoT dari mana saja. Data yang dikirim ke BLYNK Cloud dapat diakses melalui *smartphone* sebagai *user interface*.

Setelah alat dapat terhubung dengan internet, agar *smartphone* calon pengguna dapat mengakses kendali dan pemantauan *Dry Bath Incubator*. Terlebih dahulu administrator Blynk dari *Dry Bath Incubator* harus mendaftarkan akun Blynk dari calon

pengguna. Setelah akun didaftarkan, administrator selanjutnya membagikan akun *device* dari *Dry Bath Incubator* yang dapat diterima oleh pengguna.

### 4. Pengujian Akurasi dan Presisi

Pengujian presisi dan akurasi suhu bertujuan untuk memastikan sistem kendali Logika Fuzzy pada pemanas *Dry Bath Incubator* dan sensor suhu bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan nilai pembacaan suhu pada alat dengan pengukuran suhu menggunakan thermometer. Pengujian dilakukan dalam durasi selama 30 menit dengan interval 30 detik. Target toleransi pengujian presisi dan akurasi yang dihasilkan oleh *Dry Bath Incubator* adalah >80%.

Untuk menghitung nilai presisi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

Keterangan: SD= Standar deviasi

x= Nilai pengukuran

$\bar{x}$ = Rata-rata pengukuran

n= Banyak pengukuran

$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan: RSD= Standar deviasi relatif

$\bar{x}$ = Rata-rata pengukuran

$$Presisi = 100\% - RSD \quad (8)$$

$$\%Error = \left| \frac{Data\ acuan - Data\ Pengukuran}{Data\ Acuan} \right| \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan: RSD= Standar deviasi relatif

%Error= Persentase kesalahan

$$Akurasi = 100\% - \%Error \quad (10)$$

Keterangan: %Error= Persentase kesalahan

### 5. Pengujian Waktu Tunak

Pengujian waktu tunak bertujuan mengetahui berapa lama proses pemanasan mencapai suhu target dan mampu stabil pada suhu yang diinginkan. Pengujian ini dilakukan dengan cara merekam nilai suhu mulai dari suhu ruang, yaitu berkisar 31-33 °C menuju suhu target yang dilakukan pada tiga pengaturan suhu berbeda, yaitu 37 °C, 67 °C, dan 97 °C. Waktu pemanasan mencapai waktu tunak diharapkan maksimal selama 10 menit. Serta agar dapat mengetahui sistem yang dirancang telah stabil adalah dengan mengukur suhu pada alat tidak berubah-ubah dengan toleransi < 2% (target % kesalahan keadaan tunak) selama proses inkubasi mikrob.

### 6. Pengujian Konektivitas IoT

Pengujian konektivitas IoT *Dry Bath Incubator* dilakukan untuk memastikan bahwa alat dapat terhubung dengan internet dan berkomunikasi dengan *platform* IoT dengan lancar. Pengujian ini dilakukan dengan 10 kali percobaan. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa percobaan seperti proses inisialisasi Wi-Fi, pengaturan suhu, pengaturan waktu, nilai pembacaan sensor suhu, dan tes fungsional tombol start/stop.

### 3 HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang telah diperoleh, diikuti dengan analisis dan pembahasan untuk menjelaskan temuan dan mengaitkannya dengan tujuan penelitian.

Bentuk *Dry Bath Incubator* tampak dari luar dan komponen-komponen elektronik dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 8.



Gambar 4. Tampilan alat Dry Bath Incubator.

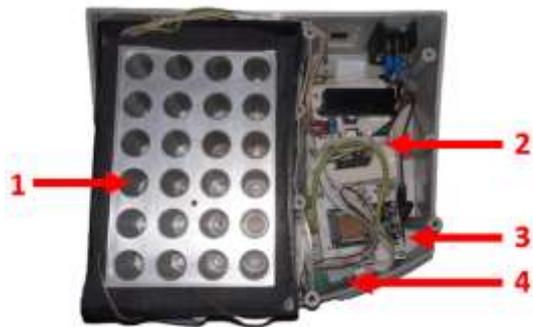
Keterangan: 1) *Heater block*  
 2) Layar



Gambar 5. Layar Dry Bath Incubator.

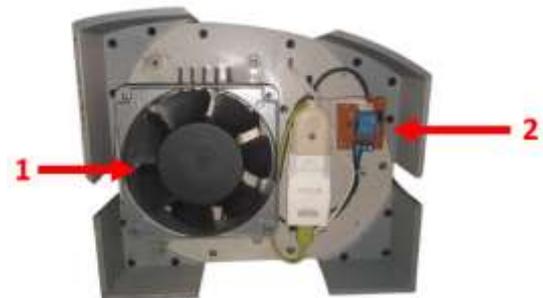
Keterangan:  
 1) Waktu mundur  
 2) Suhu terbaca  
 3) *Start/ stop*  
 4) Pengaturan suhu (turun)  
 5) Nilai pengaturan suhu  
 6) Pengaturan suhu (naik)

- 7) Pengaturan waktu (turun)
- 8) Nilai pengaturan waktu
- 9) Pengaturan waktu (naik)



Gambar 6. Bagian-bagian elektronik pada sisi dalam Dry Bath Incubator.

Keterangan:  
 1) Blok pemanas  
 2) *Driver AC Light Dimmer*  
 3) Minimum sistem ESP32  
 4) MAX 6675



Gambar 7. Bagian-bagian elektronik pada sisi bawah Dry Bath Incubator.

Keterangan:  
 1) Kipas  
 2) *Driver kipas*



Gambar 8. Tampilan IoT Dry Bath Incubator.

Keterangan:

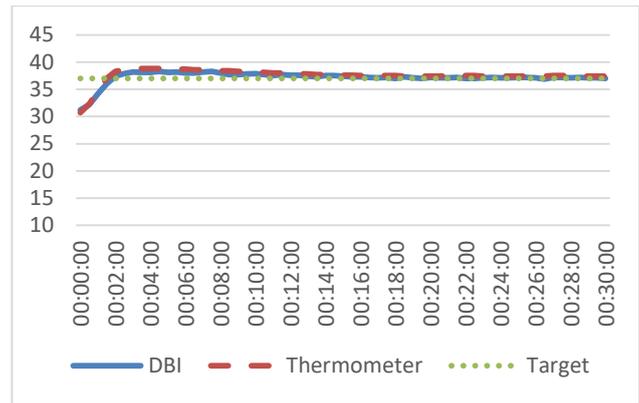
- 1) Grafik suhu
- 2) Suhu terbaca
- 3) Start/ stop
- 4) Pengaturan suhu
- 5) Nilai pengaturan suhu
- 6) Pengaturan waktu
- 7) Nilai pengaturan waktu

1. Pengujian Respons Sistem Kendali serta Akurasi – Presisi Suhu

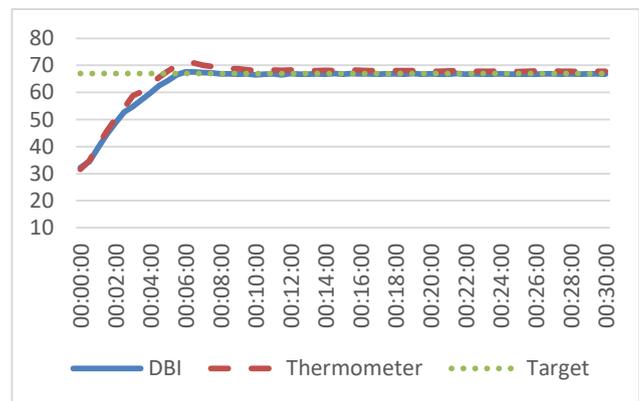
Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk memastikan *Dry Bath Incubator* memiliki stabilitas suhu yang tinggi, fluktuasi suhu kecil, dan mengetahui tingkat akurasi dan presisi suhu. Pengujian dilakukan pada tiga pengaturan suhu berbeda, yaitu 37 °C, 67 °C, dan 97 °C. Suhu tersebut diperlukan untuk inkubasi mikroba jenis *mesophiles*, *thermophiles*, dan *hyperthermophiles* [28].

Agar dapat memperoleh hasil dari respons sistem kendali, pengukuran suhu dilakukan selama 30 menit dengan interval pengambilan nilai suhu selama 30 detik. Sedangkan pada pengujian akurasi dan presisi dilakukan dengan cara melakukan komparasi suhu *Dry Bath Incubator* (DBI) dengan thermometer. Thermometer yang digunakan bermerek MASTECH tipe MS6514 jenis thermocouple type-K.

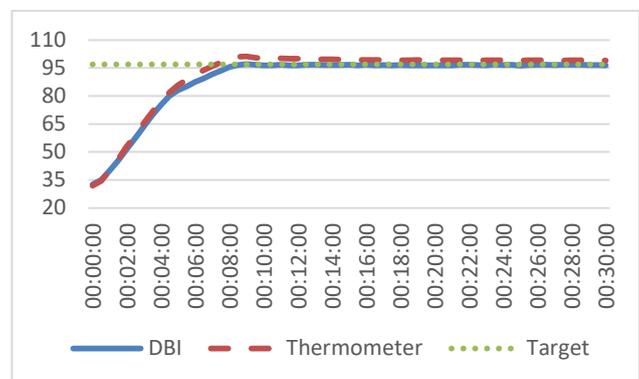
Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9 untuk suhu 37 °C, Gambar 10 untuk suhu 67 °C, dan Gambar 11 untuk suhu 97 °C.



Gambar 9. Pengujian pada suhu 37 °C.



Gambar 10: Pengujian pada suhu 67 °C.



Gambar 11. Pengujian pada suhu 97 °C

Rangkuman hasil pengujian pada tiga target suhu berbeda yaitu 37 °C, 67 °C, dan 97 °C dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman hasil pengujian respons sistem kendali serta akurasi – presisi suhu.

Parameter	Target Suhu		
	37 °C	67 °C	97 °C
Overshoot	3,51%	0,89%	0,10%

Waktu naik	00:01:30	00:04:00	00:06:00
Waktu Tunak	00:10:00	00:05:30	00:08:00
Kesalahan Keadaan Tunak Maksimum	1,89%	0,90%	1,55%
Akurasi	99,49%	95,30%	91,72%
Presisi	96,80%	87,56%	81,20%

Pada target suhu 37 °C terdapat *overshoot* mencapai 3,51 %. Lebih tinggi dibandingkan dengan target suhu lainnya. Sistem kendali menunjukkan penurunan *overshoot* yang drastis seiring dengan meningkatnya suhu target. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kendali Logika Fuzzy pada *Dry Bath Incubator* memiliki kemampuan meredam *overshoot* lebih baik pada suhu yang tinggi.

Waktu naik akan semakin lama seiring dengan peningkatan target suhu. Hal ini wajar karena sistem kendali memerlukan waktu yang lebih banyak untuk mencapai suhu yang lebih tinggi. Sedangkan untuk memasuki suhu yang stabil, sistem kendali lebih cepat pada target suhu menengah, yaitu 67 °C, membutuhkan waktu tunak selama 5 menit 30 detik.

Suhu pengaturan 37 °C memiliki waktu tunak yang lebih lama dibanding pengaturan yang lain. Hal ini disebabkan *Dry Bath Incubator* memerlukan tenaga yang lebih banyak untuk menurunkan suhu untuk mencapai suhu yang lebih rendah. Hal ini dipengaruhi oleh sistem penurunan suhu berupa kipas yang berfungsi untuk menurunkan suhu sudah berada pada kondisi maksimalnya.

Kesalahan keadaan tunak maksimum relatif kecil di semua suhu, dengan nilai 0,90% - 1,89%. Logika fuzzy mampu membuat kondisi suhu stabil dengan nilai rentang kesalahan yang lebih kecil dari target yang diharapkan sebelumnya yaitu 2%.

Nilai akurasi menurun dengan peningkatan target suhu. Akurasi tertinggi adalah 99,49%, yaitu pada target suhu 37 °C. Sejalan dengan akurasi, nilai presisi juga menurun dengan peningkatan suhu. Nilai presisi terbaik terdapat pada suhu 37 °C, yaitu sebesar 96,80%. Hal ini menunjukkan *Dry Bath Incubator* lebih akurat dan presisi pada suhu yang lebih rendah.

Pengujian sistem kendali Logika Fuzzy pada *Dry Bath Incubator* secara keseluruhan dilakukan pada target suhu 37 °C, 67 °C, dan 97 °C selama 30 menit. Setelah dilakukan pengujian diketahui bahwa alat ini mampu stabil pada suhu yang ingin dicapai. Sejak awal pengujian ini dimulai, pemanas pada *Dry Bath Incubator* akan langsung menuju suhu *overshoot* yaitu kondisi suhu melampaui target. Kemudian suhu akan turun menuju suhu target yang diharapkan. Setelah *Dry Bath Incubator* mencapai

suhu target, nilai suhu yang dihasilkan stabil hingga akhir pengujian.

## 2. Pengujian Konektivitas IoT

Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa *Dry Bath Incubator* dapat dikendalikan dari jauh oleh pengguna. Dilakukan 10 kali perulangan pengujian dengan beberapa parameter, diantaranya yaitu:

1. Inisialisasi Wi-Fi
2. Proses *Dry Bath Incubator* dapat terhubung dengan jaringan internet.
3. Pengaturan suhu
4. Pengguna dapat memberikan pengaturan suhu melalui aplikasi Blynk pada *smartphone*.
5. Nilai suhu
6. Nilai suhu yang tertampil pada layar *Dry Bath Incubator* sama dengan nilai suhu yang tampil pada aplikasi Blynk.
7. *Start/ stop*
8. Pengguna dapat mengaktifkan atau non-aktifkan pemanas menggunakan tombol *start/ stop* yang terdapat pada aplikasi Blynk.

Tabel 7. Hasil pengujian konektivitas IoT.

Pengujian ke - ...	Inisialisasi Wi-Fi	Pengaturan Suhu	Nilai Suhu	<i>Start/ Stop</i>
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓

Pengujian fungsional sistem IoT yang terhubung dengan *Dry Bath Incubator* telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang berfungsi dengan baik, terangkum pada Tabel 7. Dimana setiap pengujian berhasil dilakukan. Faktor penting dalam sistem IoT adalah konektivitas internet yang mendukung. Pengujian dimulai dengan menghubungkan *smartphone* dengan *Dry Bath Incubator*, kemudian pengguna dapat memberikan pengaturan suhu dan pengaturan waktu sesuai dengan kebutuhan. Pengguna juga dapat mengetahui nilai suhu dari tampilan *smartphone*, nilai suhu yang tertampil pada layar *smartphone* sama seperti yang ada pada layar *Dry Bath Incubator*. Salah satu bagian utama

lainnya adalah penggunaan tombol *start/stop*, tombol yang digunakan untuk memulai dan menghentikan proses inkubasi.

Setiap parameter pengujian yang dilakukan, antara kontrol yang diberikan dari *smartphone* dan respon yang didapat oleh *Dry Bath Incubator* atau sebaliknya kontrol yang diberikan dari *Dry Bath Incubator* yang akan dipantau melalui *smartphone* menghasilkan *delay* < 1 detik. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi internet yang baik.

Hasil pengujian konektivitas IoT menunjukkan hasil terbaik. Membuktikan *Dry Bath Incubator* dapat dikendalikan dari jarak jauh dan dari mana saja selama memiliki kondisi internet yang baik pula.

#### 4 KESIMPULAN

*Dry Bath Incubator* merupakan alat penting di laboratorium yang digunakan dalam proses inkubasi mikrob. Alat yang dapat menghasilkan suhu tinggi dan stabil, karena suhu merupakan faktor utama dari inkubasi. Kondisi suhu yang fluktuatif dapat menyebabkan pertumbuhan mikrob tidak normal, bahkan kematian mikrob, pada akhirnya mempengaruhi hasil penelitian. Kendala lain yang dihadapi adalah ketika petugas tidak berada di laboratorium. Sedangkan petugas harus mengendalikan dan memantau suhu inkubasi. Berbagai penelitian telah dilakukan mengenai sistem kendali suhu, yaitu menggunakan Logika Fuzzy.

Pada penelitian ini, dirancang *Dry Bath Incubator* dengan sistem kendali Logika Fuzzy untuk menghasilkan kondisi suhu yang stabil pada proses inkubasi mikrob. Alat mampu diatur pada suhu 37 °C, 67 °C, dan 97 °C. Dilengkapi pula sistem IoT sehingga pengguna dapat mengendalikan dan memantau *Dry Bath Incubator* dari mana saja dengan jangkauan internet.

Hasil penelitian membuktikan penerapan Logika Fuzzy dapat mencapai kinerja suhu yang diharapkan. Suhu inkubasi tetap stabil sesuai dengan target suhu. Kesalahan keadaan tunak < 2%, waktu tunak yang cepat, dan akurasi – presisi yang tinggi. Bahkan efisiensi kinerja pengguna dapat terbantu dengan kemampuan *Dry Bath Incubator* dapat dikendalikan dari jarak jauh dengan sistem IoT.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. H. M. Pushiri, *Environmental Microbiology*, I. Malaysia: Libretexts, 2024.
- [2] Y. Bai, M. R. Rizzo, C. Parise, S. Maes, and R. J. Eisen, “A Novel Loop-Mediated Isothermal Amplification Assay for Rapid Detection of

*Yersinia pestis*,” *Front. Microbiol.*, vol. 13, pp. 1–10, 2022, doi: 10.3389/fmicb.2022.863142.

- [3] R. Ramadani, S. Samsunar, and M. Utami, “Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biological Oxygen Demand ( BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo,” *IJCR-Indonesian J. Chem. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 12–22, 2021, doi: <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>.
- [4] A. Junita, Nurhayani, and N. Afridayanti, “Optimalisasi Suhu di Inkubator untuk Penyimpanan Isolat Jamur *Trichoderma Sp.* di Laboratorium Fitopatologi,” *Pros. Semin. Nas. Lahan Suboptimal ke-10*, vol. 10, pp. 847–858, 2022.
- [5] R. Armiliandi and Irdawati, “Pengaruh Inkubasi Suhu dalam Memproduksi Enzim Xilanase dari Konsorsium Trikultur Bakteri Termofilik,” *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 8, no. 1, pp. 15912–15921, 2024, doi: <https://doi.org/10.31004/jptam.v8i1.14641>.
- [6] A. D. Pangestu, K. Kurniawan, and S. Supriyadi, “Pengaruh Variasi Suhu dan Lama Penyimpanan terhadap Viabilitas Bakteri Asam Laktat (BAL) dan Nilai pH Yoghurt,” *Borneo J. Med. Lab. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 231–236, 2021, doi: 10.33084/bjmlt.v3i2.2169.
- [7] A. H. Nurung, F. D. Widowati, H. Herwin, and F. Fitriana, “Optimization of Temperature Cellulose Producing Bacterial Isolates from Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*),” *J. Microbiol. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 42–48, 2021, doi: 10.56711/jms.v1i1.820.
- [8] Scigiene, *Scigiene MDB100-C Dry Bath Incubator User Guide*. 2022.
- [9] F. Prasetyawan and L. Anifah, “Sistem Kontrol Suhu Ketel Elektrik Menggunakan Metode Logika Fuzzy Sugeno Berbasis ESP8266 dengan Komunikasi Internet Of Things (IoT),” *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 5–12, 2021, doi: 10.26740/jieet.v5n1.p5-12.
- [10] R. Rumfot, Y. A. Lesnussa, and D. L. Rahakbauw, “Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto untuk Menentukan Jumlah Produksi Batu Pecah,” *MATHunesa J. Ilm. Mat.*, vol. 12, no. 1, pp. 157–168, 2024, doi: 10.26740/mathunesa.v12n1.p157-168.

- [11] S. Halla, R. Rohmi, and A. Agrijanti, "Efektivitas Inkubator Portable sebagai Alat Inovasi Penunjang Laboratorium Mikrobiologi," *J. Anal. Med. Biosains*, vol. 6, no. 1, p. 66, 2019, doi: 10.32807/jambs.v6i1.126.
- [12] L. Ruhyana, Gunawan, Mulyatno, and B. M. Ramdini, "Rancang Bangun Optimasi Kontrol PID Metode Ciancone untuk Meningkatkan Stabilitas Suhu Dry Bath Incubator," *J. Ilm. Sutet*, vol. 14, no. 1, pp. 98–109, 2024, doi: <https://doi.org/10.33322/sutet.v14i1.2448>.
- [13] N. Iksan, L. Hidayati, T. Andrasto, and K. Fathoni, "Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan pada Alat Penetas Telur Berbasis Fuzzy Logic Controller," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 8, no. 2, p. 245, 2022, doi: 10.26418/jp.v8i2.53246.
- [14] Radi, E. P. Saragih, B. Pratama, and W. K. Fitri, "Performance Analysis of Fuzzy Logic Controller Applied on Portable Roaster," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 757, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/757/1/012022.
- [15] I. S. Kobersi, V. I. Finaev, S. A. Almasani, and K. W. A. Abdo, "Control of The Heating System with Fuzzy Logic," *World Appl. Sci. J.*, vol. 23, no. 11, pp. 1441–1447, 2013, doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.11.13156.
- [16] T. F. Scientific, *Thermo Scientific Digital Drybath*, no. October. North America: Thermo Fisher Scientific, 2021.
- [17] H. Isyanto and W. Ibrahim, "Design of Overheating Detection and Performance Monitoring of Solar Panel based on Internet of Things (IoT) using Smartphone," *First Int. Conf. Eng. Constr. Renew. Energy, Adv. Mater. (1ST ICECREAM)*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [18] J. U. D. Hatmoko *et al.*, *Revolusi Industri 4.0 Perspektif Teknologi, Manajemen, dan Edukasi Penggunaan Prosthetic*, 1st ed., vol. 1, no. 1. Yogyakarta: ANDI, 2021.
- [19] H. Isyanto, A. S. Wahid, and W. Ibrahim, "Desain Alat Monitoring Real Time Suhu Tubuh, Detak Jantung dan Tekanan Darah secara Jarak Jauh melalui Smartphone berbasis Internet of Things Smart Healthcare," *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 5, no. 1, pp. 39–48, 2022, doi: 10.24853/resistor.5.1.39-48.
- [20] M. Artiyasa, I. Himawan Kusumah, A. Suryana, Edwinto, A. D. W. Muhammad Sidik, and A. Pradiftha Junfithrana, "Comparative Study of Internet of Things (IoT) Platform for Smart Home Lighting Control Using NodeMCU with Thingspeak and Blynk Web Applications," *Fidel. J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2020, doi: 10.52005/fidelity.v2i1.103.
- [21] M. Ardhiansyah, M. H. H. Ichsan, and A. S. Budi, "Rancang Bangun Sistem Penghematan Energi Listrik menggunakan Komunikasi Bluetooth Low Energy dan WiFi berbasis Cloud Server Blynk," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 8, pp. 2637–2644, 2020.
- [22] M. Rizal, P. Handayani, I. Chandra, and J. Riadi, "Sistem Kendali Suhu Oven Pengereng Gabah Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Internet of Things," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 13, no. 01, pp. 257–264, 2022.
- [23] B. B. Prayogo, F. Hunaini, and M. Muhsin, "Monitoring and Controlling System of Chopped Tobacco Dryer Using Fuzzy Logic Method," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 6, no. 1, pp. 21–39, 2022, doi: 10.21070/jeeeu.v6i1.1631.
- [24] I. W. P. Perkasa, F. Hunaini, and S. Setiawidayat, "Prototype Burner Control of Gas Fuel Oven Machine using Fuzzy Logic Control and Wireless Data Monitoring," *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–21, 2021, doi: <https://doi.org/10.21070/jeeeu.v5i1.1005>.
- [25] A. Prasetyo, A. Voutama, N. Heryana, and J. H. Ronggowaluyo, "Penerapan Logika Fuzzy Tsukamoto dalam Perolehan Tunjangan Hari Raya," *J. Teknol. Inf.*, vol. 6, no. 2, pp. 174–180, 2022.
- [26] A. Burhanuddin, "Analisis Komparatif Inferensi Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno Terhadap Produktivitas Padi di Indonesia," *LEDGER J. Inform. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 48–57, 2023.
- [27] S. Bahri, H. Muchtar, R. Samsinar, F. Fadliandi, and M. N. Bayuardi, "Implementasi Sistem Kontrol Sorotan Lampu Depan Otomatis Menggunakan Fuzzy Logic Controller," *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 5, no. 2, p. 113, 2022, doi: 10.24853/resistor.5.2.113-118.

- [28] N. Parker, M. Schneegurt, A.-H. T. Tu, B. M. Forster, and P. Lister, *Microbiology*, vol. 1, no. 1. Huston, Texas: Rice University, 2021.