

Automatic Room Temperature Regulator for Making Tempe Based on Arduino with Fuzzy Logic Method

Mujib Hidayah¹, Edi Prihartono², Budi Santoso³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Informatika Universitas Dr. Soetomo Surabaya

¹ muzieb.trueblue@gmail.com, ²edi.prihartono@unitomo.ac.id, ³ budi.santoso@unitomo.ac.id

Abstract—The main obstacles of the tempe producers in fermentation process are the uncertain temperature and weather factors, if in the cold temperatures of tempe producers tend to still use manual way to keep the temperature in tempe, that is by covering the surface using cloth, newspaper or other cover because for the fermentation process in tempe temperature required ranges between 30-35° C and humidity below 70%. With unstable temperature can certainly affect the duration of tempe fermentation process. For that required a tool that can stabilize the temperature of the room on tempe fermentation process. Automatic temperature control for the manufacture of tempe is using fuzzy logic method as a smart control system, Arduino Mega 2560 as a microcontroller, DHT11 sensor as the detector temperature and humidity of the room, YL-69 & YL-38 sensors to detect the tempe water content that has become tempe parameter already mature or not, and heater and fan as actuators to stabilize the room temperature. Automatic temperature regulator for tempe making with fuzzy logic method is able to stabilize room temperature in fermentation process tempe and success rate of this tool in category good enough because get value from precision equal to 65%, recall 100%, and accuracy equal to 65%.

Keywords— fermentation, tempe, fuzzy logic, dht11 sensor, yl-69 & yl-38 sensor.

Abstrak— Kendala utama para produsen tempe dalam melakukan proses fermentasi adalah faktor suhu dan cuaca yang tidak menentu, jika pada suhu dingin produsen tempe cenderung masih menggunakan cara konvensional dalam menjaga suhu pada tempe, yaitu dengan menutup permukaan menggunakan kain, koran, atau penutup yang lain, karena untuk proses fermentasi pada tempe dibutuhkan suhu berkisar antara 30-35° C dan kelembaban dibawah 70%. Dengan tidak stabilnya suhu tentu dapat mempengaruhi lamanya proses fermentasi tempe. Untuk itu dibutuhkan alat yang dapat menstabilkan suhu ruangan pada proses fermentasi tempe. Pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe ini menggunakan metode logika *fuzzy* sebagai sistem kendali cerdas, *Arduino Mega 2560* sebagai mikrokontroler, sensor *DHT11* sebagai pendeteksi suhu dan kelembaban ruangan, sensor *YL-69 & YL-38* untuk mendeteksi kadar air tempe yang dijadikan parameter tempe sudah matang atau belum, dan heater serta fan sebagai aktuator untuk menstabilkan suhu ruangan. Pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe dengan metode logika *fuzzy* ini mampu menstabilkan suhu ruangan pada proses fermentasi tempe dan tingkat keberhasilan dari alat ini dalam kategori cukup baik karena mendapatkan nilai dari *precision* sebesar 65%, *recall* 100%, dan *accuracy* sebesar 65%.

Kata kunci— fermentasi, tempe, logika *fuzzy*, sensor dht11, sensor yl-69 & yl-38

I. PENDAHULUAN

Tempe merupakan makanan pokok masyarakat Indonesia. Hampir sebagian masyarakat Indonesia memilih tempe sebagai bahan pokok makanan untuk kehidupan sehari-hari, karena pada tempe terdapat sumber protein nabati yang baik dikonsumsi oleh tubuh manusia. Untuk menghasilkan tempe dengan kualitas baik membutuhkan waktu kurang lebih 30-35 jam dan kondisi suhu ruangan 30-35°C dengan kelembaban dibawah 70%. Terkadang waktu 30-35 jam yang dibutuhkan saat proses fermentasi masih tidak bisa maksimal [1][2], hal ini dikarenakan oleh kondisi cuaca udara yang terkadang tidak menentu. Hasilnya proses terbentuknya tempe tidak sempurna, ini juga salah satu faktor ketidakberhasilan industri rumahan dalam memproduksi tempe. Mikrokontroler ATmega16 digunakan untuk mengatur suhu dan kelembaban proses pembuatan tempe, mikrokontroler ini bertindak sebagai eksekutor pada rangkaian actuator [3].

Dalam kehidupan sehari-hari para produsen tempe cenderung masih menggunakan cara manual untuk mengatur suhu ruangan, jika pada suhu dingin tempe biasanya ditutupi dengan menggunakan kain, koran, atau penutup yang lain agar suhu pada tempe tetap stabil. Tentu hal seperti ini akan menyulitkan

para produsen tempe karena tidak adanya sistem yang dapat mengatur suhu ruangan pada pembuatan tempe secara otomatis.

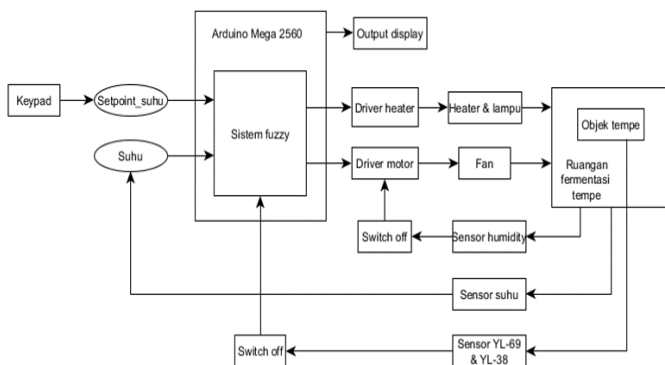
Penelitian sebelumnya menggunakan teknologi IOT untuk monitoring suhu dan kelembaban pada proses fermentasi tempe menggunakan mikrokontroler ESP32, hasil penelitian ini didapatkan uji fermentasi lebih cepat 10 jam dibandingkan menggunakan metode konvensional [4]. Alat uji dengan kontrol mikrokontroler arduino Mega2560 digunakan untuk sistem kendali suhu dan kelembaban pada proses fermentasi tempe membutuhkan waktu 16 jam dibanding dengan menggunakan metode konvensional yang membutuhkan waktu fermentasi 30-48 jam [5]. Sistem kontrol untuk monitoring suhu Dan kelembaban menggunakan Mikrokontroler Arduino UNO dengan sensor sht11, hasil uji didapatkan perbedaan waktu fermentasi 3 jam dengan metode konvensional [6], ada perbedaan waktu 7 jam dibandingkan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 [4]. Mikrokontroler ATmega8 digunakan untuk mengatur suhu yang dapat dikontrol dengan menggunakan komputer untuk fermentasi tempe, hasil yang didapat memiliki penyimpangan suhu antara 0,1-1 derajat *Celsius* [7]. Berdasarkan uraian pada penelitian terdahulu, belum ada yang menggabungkan alat kontrol pengatur suhu ruangan untuk fermentasi tempe dengan menggabungkan menggunakan metode sistem cerdas logika *fuzzy*.

Tujuan dari pembuatan “Pengatur Suhu Ruang Otomatis Untuk Pembuatan Tempe Berbasis Arduino Dengan Metode Logika Fuzzy untuk mengatur kecepatan fan dan tingkat panas dari heater agar suhu ruangan pada pembuatan tempe tetap stabil, yang nantinya dapat mempengaruhi ketepatan waktu dalam proses fermentasi tempe, dan para produsen tidak perlu lagi melakukan monitoring suhu pada tempe secara berkala. Hasil dari sistem fuzzy nantinya keluar nilai yang akan dijadikan sebagai output PWM untuk mengendalikan kecepatan fan dan tingkat panas dari heater.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Deskripsi Sistem

Pada pengatur suhu ruangan otomatis berbasis Arduino dengan metode logika fuzzy dengan uraian seperti pada Gambar 1, menggunakan miniatur ruangan berbentuk kubus persegi panjang ukuran 38x30x30 cm yang didalamnya sudah terdapat heater 50-watt dan lampu 18-watt sebagai pemanas, terdapat 2 fan yang digunakan untuk mengeluarkan panas tersebut, jika suhu dalam ruangan terlalu panas. Sensor DHT11 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, juga terdapat sensor YL-69 dan YL-38 guna untuk mendeteksi kadar air pada tempe. Dan LCD karakter 16x2 yang digunakan untuk menampilkan suhu dan kelembaban secara real time. Sistem kerja dari pengatur suhu ruangan otomatis ini menggunakan sistem kendali close loop, karena dibutuhkan umpan balik untuk mengendalikan output.



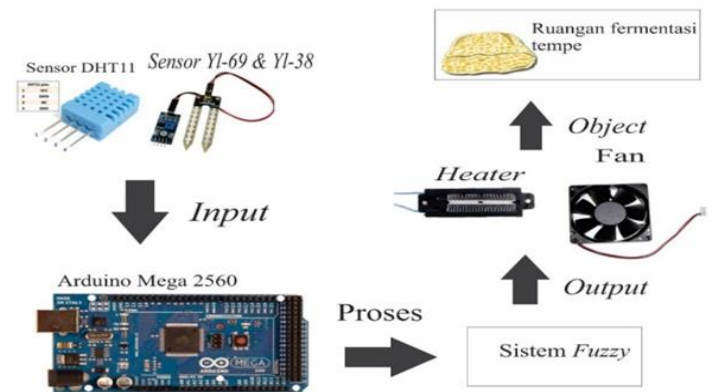
Gambar 1. Blok Diagram Pengatur Suhu Ruang Otomatis Untuk Pembuatan Tempe

B. Arsitektur Sistem

Pada sistem pengatur suhu ruangan otomatis terdapat arsitektur sistem, dimana setiap perangkat yang digunakan saling berhubungan satu sama lain. Arsitektur sistem pada pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe pada Gambar 2.

Alur kerja dari sistem pada Gambar 2 menjelaskan Sensor DHT11 yang digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban ruangan. Sensor YL-69 dan YL-38 untuk mendeteksi kadar air pada tempe selama proses fermentasi berlangsung, sensor akan membaca tingkat kadar air pada tempe, tingkat kadar air normal pada tempe yang sudah matang adalah tidak lebih dari atau sama dengan 53%. Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler yang berfungsi kontrol perangkat input dan perangkat output. Sistem fuzzy sebagai sistem

kendali cerdas yang berfungsi untuk mengendalikan output berdasarkan nilai input yang diterima. Fan dan heater sebagai output berfungsi untuk menstabilkan suhu ruangan agar tetap pada suhu yang diinginkan. Ruang fermentasi untuk pembuatan tempe sebagai objek yang akan dikontrol suhu dan kelembabannya.



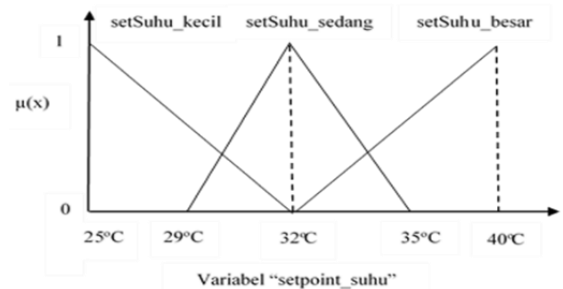
Gambar 2. Arsitektur sistem pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk pembuatan pengatur suhu ruangan otomatis pada proses fermentasi tempe dengan menggunakan metode logika fuzzy. Formulasi kecerdasan buatan yang digunakan peneliti pada pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe adalah dengan metode logika fuzzy. Ada tiga tahapan yang dilakukan untuk proses fuzzy inference system pada logika fuzzy, yaitu fuzzyfication, inference system, dan defuzzification [8][9]. Berikut perhitungan dari fuzzy inference system untuk setpoint suhu 35° C dan saat suhu berada pada 32° C.

1. Variabel setpoint_suhu pada Gambar 3 terdiri dari 3 himpunan, yaitu:

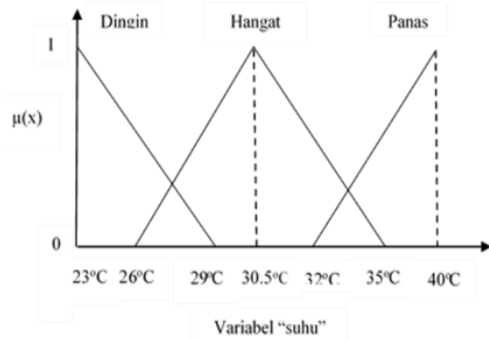
$$\begin{aligned} \text{setSuhu_kecil} &= [25 \ 25 \ 32] \\ \text{setSuhu_sedang} &= [29 \ 32 \ 35] \\ \text{setSuhu_besar} &= [32 \ 40 \ 40] \end{aligned}$$



Gambar 3. Variabel “setpoint_suhu”

2. Variabel suhu pada Gambar 4 terdiri 3 himpunan, yaitu:

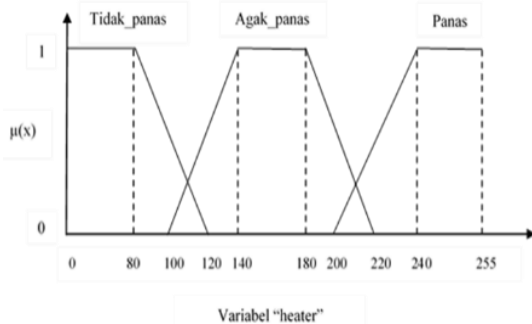
$$\begin{aligned} \text{Dingin} &= [23 \ 23 \ 29] \\ \text{Hangat} &= [26 \ 30,5 \ 35] \\ \text{Panas} &= [32 \ 40 \ 40] \end{aligned}$$



Gambar 4. Variable "suhu"

3. Variabel heater pada Gambar 5 terdiri dari 3 himpunan, yaitu:

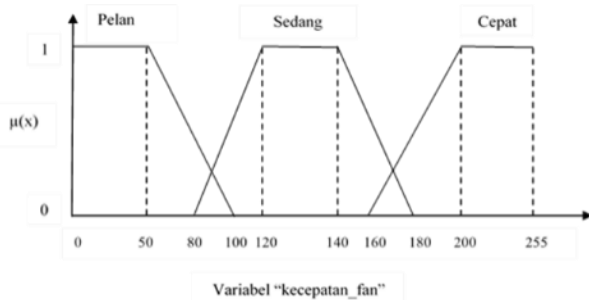
- Tidak_panas = [0 0 80 120]
- Agak_panas = [100 140 180 220]
- Panas = [200 240 255 255]



Gambar 5. Variabel "heater"

4. Variabel kecepatan_fan pada Gambar 6 terdiri dari 3 himpunan, yaitu:

- Pelan = [0 0 50 100]
- Sedang = [80 120 140 180]
- Cepat = [160 200 255 255]



Gambar 6. Variable "kecepatan_fan"

Setelah semua himpunan telah ditentukan kedalam tiap-tiap variabel, selanjutnya adalah dengan membuat rule base pada Tabel 1. Variabel input terdapat 2 variabel dan di setiap variabel memiliki 3 himpunan, maka ada 9 aturan yang akan dibuat.

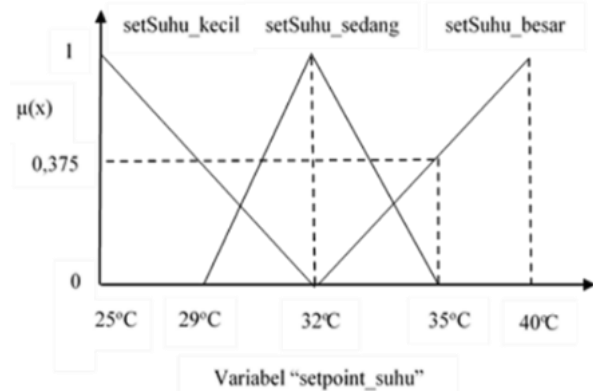
TABEL I
RULE BASE

Setpoint_suhu	Suhu	Heater	Kecepatan_fan
setSuhu_kecil	Dingin	Agak_panas	Pelan
setSuhu_kecil	Hangat	Agak_panas	Sedang
setSuhu_kecil	Panas	Tidak_panas	Cepat
setSuhu_sedang	Dingin	Panas	Pelan
setSuhu_sedang	Hangat	Agak_panas	Sedang
setSuhu_sedang	Panas	Tidak_panas	Cepat

Setpoint_suhu	Suhu	Heater	Kecepatan_fan
setSuhu_besar	Dingin	Panas	Pelan
setSuhu_besar	Hangat	Panas	Pelan
setSuhu_besar	Panas	Tidak_panas	Sedang

A. Fuzzification

Perhitungan untuk mencari derajat keanggotaan dari setpoint_suhu 35° C dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), dimana derajat keanggotaan variable setpoint_suhu terjabar pada Gambar (7).



Gambar 7. Derajat keanggotaan variabel setpoint_suhu

Representasi linier turun :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \geq b \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \leq a \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(\text{setpoint_sedang}) = 0; \quad x \geq b$$

Representasi linier naik :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu(\text{setSuhu_besar}) = \frac{35 - 32}{40 - 32} = \frac{3}{8} = 0,375$$

Setpoint_suhu 35° C pada himpunan setSuhu_sedang memiliki derajat keanggotaan 0 dan pada himpunan setSuhu_besar memiliki derajat keanggotaan 0,375.

Untuk mencari derajat keanggotaan variabel suhu pada 32° C dengan persamaan (3) dan (4).

Representasi linier turun

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \geq b \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \leq a \end{cases} \quad (3)$$

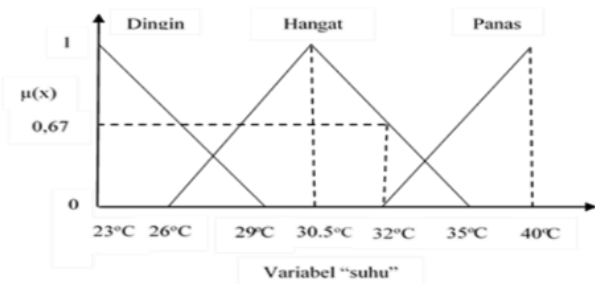
$$\mu(\text{hangat}) = \frac{35 - 32}{35 - 30,5} = \frac{3}{4,5} = 0,67$$

Representasi linier naik

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu(\text{panas}) = 0; \quad x \leq a$$

Jadi, untuk suhu 32° C pada himpunan hangat memiliki derajat keanggotaan 0,67 dan pada himpunan panas memiliki derajat keanggotaan 0 seperti hasil pada Gambar 8.



Gambar 8. Derajat keanggotaan variabel suhu

B. Inference system

Tahap awal dari *inference system* adalah menentukan *rule base* (aturan-aturan pada *fuzzy*). Operator yang digunakan dalam sistem *fuzzy* ini adalah dengan menggunakan operator *AND* yaitu mengambil derajat keanggotaan terkecil dari tiap-tiap aturan. Dikarenakan pada *inference system* ini menggunakan metode *mamdani* atau biasa disebut dengan metode *MIN-MAX*, maka untuk fungsi implikasi yang digunakan adalah fungsi implikasi *MIN*, yaitu dengan memotong daerah himpunan *output fuzzy* dari setiap *rule* yang telah dibuat. Berikut *rule* (aturan) yang telah didapatkan berdasarkan hasil dari *fuzzyfication*.

1. **Rule 1**
 IF Setpoint_suhu is SetSuhu_sedang [0] AND Suhu is Hangat [0,67] THEN Heater is Agak_panas AND Kecepatan_fan is Sedang.
2. **Rule 2**
 IF Setpoint_suhu is SetSuhu_sedang [0] AND Suhu is Panas [0] THEN Heater is Tidak_panas AND Kecepatan_fan is Cepat.
3. **Rule 3**
 IF Setpoint_suhu is SetSuhu_besar [0,375] AND Suhu is Hangat [0,67] THEN Heater is Panas AND Kecepatan_fan is Pelan.
4. **Rule 4**
 IF Setpoint_suhu is SetSuhu_besar [0,375] AND Suhu is Panas [0] THEN Heater is Tidak_panas AND Kecepatan_fan is Sedang.

Setelah didapatkan hasil dari fungsi implikasi, kemudian adalah melakukan agregasi atau komposisi aturan dengan menggunakan *MAX* yaitu dengan mengambil nilai maksimum pada himpunan *output* setelah dilakukan fungsi implikasi *MIN*.

a. Heater:

- Tidak_panas = [0] = [0]
- Agak_panas = [0] = [0]
- Panas = [0,375] = [0,375]

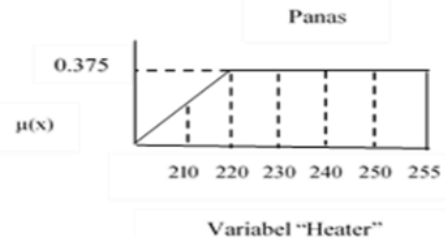
b. Kecepatan_fan :

- Pelan = [0,67] = [0,67]
- Sedang = [0], [0] = [0]
- Panas = [0] = [0]

C. Defuzzyfication

Setelah proses *inference system* dan membuat komposisi aturan selanjutnya adalah proses *defuzzyfication*. Proses *defuzzyfication* menggunakan metode *centroid*, yaitu: mencari nilai titik pusat dari suatu himpunan *output*. hal pertama untuk mencari titik pusat adalah dengan melakukan proses *clipping* pada variabel *output heater* pada Gambar 9 dan kecepatan_fan pada Gambar 10.

1. Heater



Gambar 9. Clipping output heater

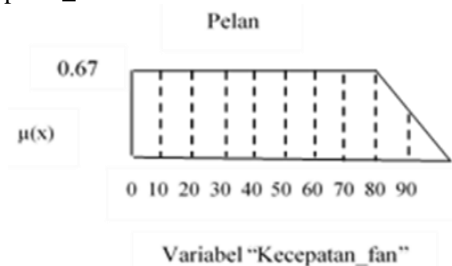
$$y = \frac{(210 + 220 + 230 + 240 + 250 + 255) * 0,375}{(6 * 0,375)}$$

$$y = \frac{526,89}{2,25}$$

$$y = 234,17$$

Jadi, untuk tingkat panas *heater* pada setpoint_suhu 35° C dan suhu berada pada 32° C adalah sebesar 234,17. Selanjutnya melakukan proses *clipping* untuk variable kecepatan_fan.

2. Kecepatan_fan



Gambar 10. Clipping output kecepatan_fan

$$y = \frac{(0 + 10 + 20 + 30 + 40 + 50 + 60 + 70 + 80 + 90) * 0,67}{(10 * 0,67)}$$

$$y = \frac{301,5}{6,7}$$

$$y = 45$$

Jadi, untuk kecepatan *fan* pada setpoint_suhu 35° C dan jika suhu berada pada 32° C adalah sebesar 45.

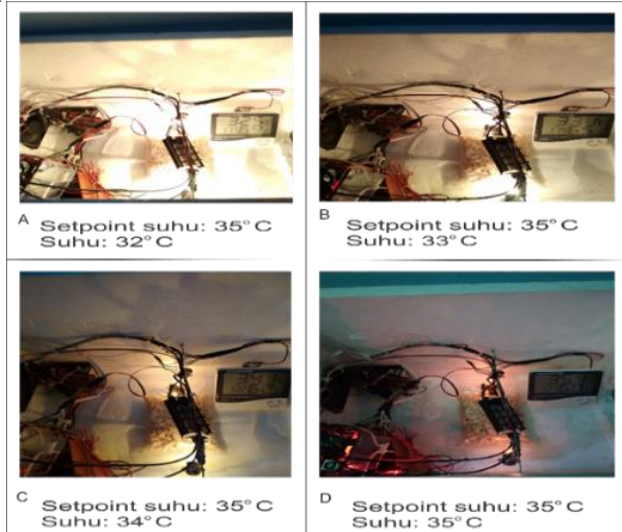
Berdasarkan hasil dari perhitungan *fuzzy inference system* (FIS) dengan menggunakan metode *mamdani*. Dapat diperoleh, jika setpoint_suhu 35° C dan suhu berada pada 32° C maka tingkat panas *heater* adalah 234,17 dan kecepatan_fan adalah 45. Hasil dari system *fuzzy* inilah yang nantinya dijadikan sebagai nilai *PWM* yang berguna untuk mengatur tingkat panas dari *heater* dan kecepatan pada *fan*.

D. Uji kebenaran sistem

Dalam uji coba kebenaran sistem pengatur suhu ruangan untuk pembuatan *tempe* pada Tabel 2 adalah dengan

mengimplementasikan metode logika *fuzzy* sebagai sistem kendali cerdas untuk mengatur kecepatan *fan* dan tingkat panas dari *heater* sebagai penstabil suhu ruangan. Uji coba dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan *fuzzy* dari sistem dan hasil dari perhitungan *fuzzy* dari *tools* matlab.

Gambar 11 menunjukkan tingkat panas dari *heater* akan mengalami penurunan sampai suhu telah pada *setpoint* yang telah ditentukan, yaitu sebesar 35° C. Begitu juga dengan *fan* akan bergerak cepat jika suhu telah pada *setpoint* atau melebihi *setpoint*.



Gambar 11. Aktuator *heater*

TABEL II
 PERBANDINGAN PERHITUNGAN *FUZZY*

Hasil Perhitungan Sistem				Hasil Perhitungan Tools Matlab			
Input		Output		Input		Output	
Setpoint Suhu	Suhu	Heater	Fan	Setpoint Suhu	Suhu	Heater	Fan
35° C	32° C	234,17	45	35° C	32° C	232	44,8
35° C	33° C	153,19	67,36	35° C	33° C	154	65,7
35° C	34° C	105,90	90,09	35° C	34° C	106	89,5
35° C	35° C	56,33	130	35° C	35° C	55,7	130

Hasil dari perhitungan Tabel 2 sistem *fuzzy* ini nantinya dijadikan sebagai *output PWM* untuk mengatur kecepatan *fan* dan tingkat panas dari *heater*. Berikut aktuator dari *heater* di setiap perubahan suhu ruangan fermentasi tempe.

E. Uji Perbandingan Hasil Fermentasi Tempe

Pengujian pertama dilakukan pada proses fermentasi tempe di miniatur ruangan tanpa menggunakan sistem pengatur suhu ruangan, dengan terdeteksi suhu didalam ruangan berkisar 30-31° C, membutuhkan waktu fermentasi selama 33 jam dengan menghasilkan tempe yang baik. Setelah itu, uji dilakukan dengan menggunakan sistem pengatur suhu ruangan otomatis dengan metode *logika fuzzy*, dengan hasil uji pada Tabel 3.

TABEL III
 HASIL PROSES FERMENTASI TEMPE

No	Setpoint Suhu	Banyaknya Tempe	Lama Fermentasi	Keterangan
1	35° C	7	23 Jam	Berhasil
2	36° C	7	23 Jam	Berhasil
3	37° C	7	21 Jam	Berhasil
4	38° C	7	20 Jam	Berhasil

Hasil uji yang dilakukan pada pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe dengan metode logika *fuzzy* telah didapatkan, pada *setpoint* suhu 35° C dan 36° C membutuhkan waktu untuk fermentasi selama 23 jam, pada *setpoint* suhu 37° C membutuhkan waktu fermentasi selama 21

		NILAI SEBENARNYA	
		TRUE	FALSE
NILAI SISTEM	TRUE	11	6
	FALSE	0	0

jam, dan pada *setpoint* suhu 38° C membutuhkan waktu fermentasi selama 20 jam. Dari percobaan yang telah dilakukan sistem pengatur suhu ruangan otomatis dengan metode logika *fuzzy* telah berhasil membantu proses fermentasi, sampai tempe dalam keadaan matang dengan bau, rasa, warna khas tempe dan kadar air tidak lebih dari 65%. Untuk waktu proses fermentasi, penggunaan sistem pengatur suhu ruangan otomatis lebih cepat dibandingkan dengan cara konvensional atau manual, yang semula membutuhkan waktu selama 33 jam.

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari sebuah sistem dilakukan perhitungan dengan menggunakan *Precision*, *Recall*, dan *Accuracy*. Pengujian proses fermentasi tempe dengan menggunakan pengatur suhu ruangan otomatis dilakukan sebanyak 17 kali, dengan hasil sebagai berikut.

TABEL IV
 HASIL UJI COBA

1	Ketepatan waktu dari sistem dalam proses fermentasi tempe	11 kali
2	Ketidaktepatan waktu dari sistem atau proses fermentasi lebih lama	6 kali
3	Sistem gagal dalam melakukan proses fermentasi	0 kali

Nilai *Precision* pada persamaan (5), *Recall* pada persamaan (6), dan *Accuracy* pada persamaan (7) dan Tabel 3.

TABEL III
 NILAI *PRECISION*, *RECALL*, DAN *ACCURACY*

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} = \frac{11}{11+6} = \frac{11}{17} = 0,65 * 100 = 65\% \quad (5)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{11}{11+0} = \frac{11}{11} = 1 * 100 = 100\% \quad (6)$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} = \frac{11+0}{11+0+6+0} = \frac{11}{17} = 0,65 * 100 = 65\% \quad (7)$$

Dari pengujian yang dilakukan sistem pengatur suhu ruangan otomatis dengan metode logika *fuzzy* dapat diidentifikasi bahwa tingkat keberhasilan dalam kategori cukup baik, hal ini dikarenakan sistem pengatur suhu ruangan otomatis

mendapatkan nilai *precision* sebesar 65%, *recall* 100%, dan *accuracy* sebesar 65%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dijelaskan sebelumnya. Dengan adanya sistem kendali metode logika fuzzy pada pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe, suhu dan kelembaban ruangan fermentasi cukup stabil. Tingkat keberhasilan dari sistem pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe berbasis Arduino dengan metode logika fuzzy dalam kategori cukup baik dengan mendapatkan nilai dari *precision* sebesar 65%, *recall* 100%, dan *accuracy* sebesar 65%. Pengatur suhu ruangan otomatis untuk pembuatan tempe berbasis Arduino dengan metode logika fuzzy ini, cukup membantu para pengusaha tempe dalam pembuatan tempe, karena tidak perlu lagi khawatir soal perubahan cuaca yang dapat mempengaruhi lamanya fermentasi tempe.

REFERENSI

- [1] Eddy Sulistyowati, Retno Arianingrum, Das Salirawati. 2004. Studi Pengaruh Lama Fermentasi Tempe Kedelai Terhadap Aktivitas Tripsin. Penelitian. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [2] Erna Ayu Dwinaningsih. 2010. Karakteristik Kimia Dan Sensori Tempe Dengan Variasi Bahan Baku Kedelai/Beras Dan Penambahan Angkak Serta Variasi Lama Fermentasi. Skripsi. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [3] Andik Setyawan, Ratna Adil, Legowo Sulistijono. 2012. Desain Alat Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembaban Untuk Optimasi Proses Pembuatan Tempe Pada Skala Industri Rumah Tangga. Jurnal. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [4] R. Soelistijorini, "Implementasi Esp32 Untuk Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Fermentasi Tempe Berbasis Iot," in Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan, 2019, vol. 3, pp. 61–65.
- [5] R. P. Yunas and A. B. Pulungan, "Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban pada Proses Fermentasi Tempe," JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional), vol. 06, no. 01, pp. 103–113, 2020.
- [6] D. Wijanarko and S. Hasanah, "Monitoring Suhu Dan Kelembaban Menggunakan Sms Gateway Pada Proses Fermentasi Tempe Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler," J. Inform. Polinema, vol. 4, no. 1, p. 49, 2017.
- [7] I. F. Rahmad and D. Afrianto, "Rancangan Indikator Temperatur Pada Proses Fermentasi Kacang Tanah (Tempe)," in Seminar Nasional Informatika, 2014, pp. 160–164.
- [8] Agus Naba. 2009. Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- [9] Sri Kusumadewi, Hari Purnomo. 2010. Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan. Yogyakarta: Graha Ilmu.