

Implementasi Logika *Fuzzy* pada Sistem Kendali Suhu dan Kelembaban Udara untuk Ruang Pengerih Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler

Implementation of Fuzzy Logic in a Microcontroller-Based Air Temperature and Humidity Control System for Coffee Bean Drying Room

Bagus Fatkhurrozi¹, Hery Teguh Setiawan²

^{1,2}*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No. 39 Magelang*

¹bagusf@untidar.ac.id, ²hery.teguh.s@untidar.ac.id

Received on 02-11-2023, accepted on 22-01-2024, published on 31-01-2024

Abstrak

Salah satu proses penanganan yang paling penting dalam pengolahan biji kopi adalah pada proses pengeringan biji kopi. Proses pengeringan biji kopi yang baik memerlukan ruang pengering yang dapat distabilkan pada suhu dan kelembaban yang stabil pada suhu 24-37°C dan kelembaban dibawah 11%. Pengaturan suhu ruangan dapat dilakukan secara manual maupun secara otomatis. Pengaturan secara manual seringkali mengalami masalah kestabilan yang tidak konsisten. Penerapan logika *fuzzy* dapat menghasilkan pengaturan suhu dan kelembaban yang lebih stabil, pada penelitian ini dikembangkan sistem pengendalian suhu dan kelembaban ruangan dengan logika *fuzzy* berbasis mikrokontroler. Penelitian ini menggunakan 10 *rule* yang dihasilkan dari hubungan fungsi keanggotaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali logika *fuzzy* berbasis mikrokontroler dapat mengontrol suhu dan kelembaban ruang pengering kopi, dan telah berhasil diimplementasikan ke dalam mikrokontroler dengan hasil pengujian simulasi menggunakan MATLAB. Hasil pada mikrokontroler mempunyai rata-rata deviasi keluaran sebesar 0,03500 dan rata-rata deviasi keluaran pengaturan kipas sebesar 0,01225.

Kata kunci: kopi, logika *fuzzy*, mikrokontroler.

Abstract

One of the most important handling processes in coffee bean processing is in the coffee bean drying process. The good process of drying coffee bean requires a drying room that can be stabilized at a stable temperature and humidity at 24-27°C for temperature and less than 11% for relative humidity. Room temperature setting can be done manually or automatically. Manual settings often face instability problems. Implementation of fuzzy logic can produce more stable temperature and humidity settings, in this research a system for controlling room temperature and humidity was developed with microcontroller-based fuzzy logic. The research uses 10 rule that produce from relation of several membership function. The results show that the microcontroller-based fuzzy logic control system can control the temperature and humidity of the coffee drying room, and have been successfully implemented into the microcontroller with the simulation test results using MATLAB. The results on the microcontroller has an average output deviation of 0.03500 and the average fan setting output deviation is 0.01225.

Keywords: coffee, fuzzy logic, microcontroller

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu minuman populer karena rasanya yang unik. Salah satu proses penanganan yang sangat penting dalam pengolahan biji kopi ada pada proses pengeringan biji kopi. Kadar air pada kopi dengan kualitas yang baik berkisar antara 11-12.5% [1], [2], untuk mencapai kondisi tersebut diperlukan sebuah ruangan penyimpanan dan pengeringan yang dapat diatur suhu dan kelembabannya. Pengaturan suhu dan kelembaban dalam ruangan dapat dilakukan dengan cara manual maupun otomatis dengan menggunakan mikrokontroler [3], [4]. Pengaturan suhu dan kelembaban memerlukan beberapa perangkat yang terdiri dari sensor, kontroler, dan aktuator [5]. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengendalikan suhu dan kelembaban ruangan adalah dengan menggunakan mikrokontroler [6], [7].

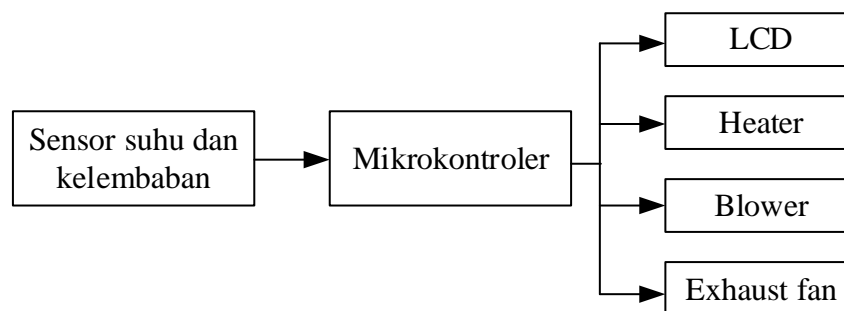
Penelitian tentang penerapan logika fuzzy pada mikrokontroler untuk mengendalikan kecepatan putar kipas dan suhu pemanas, telah dilakukan pada [8]. Penelitian serupa menggunakan lampu sebagai pemanas, *exhaust-fan*, dan *water-pump* untuk mengendalikan suhu dan kelembaban ruangan telah dilakukan pada pengeringan biji kopi, penelitian tersebut tanpa menerapkan logika fuzzy. Beberapa penelitian serupa menggunakan kendali *on-off* serta menambahkan fitur notifikasi [9], [10], tanpa menerapkan algoritma pengendali, serta sensor kelembaban yang kurang memadai untuk mengatur kelembaban pada tingkat yang lebih rendah (<15%) sehingga kestabilan suhu dan kelembaban ruangan yang dihasilkan relatif tidak stabil.

Pada penelitian ini dilakukan pengendalian suhu dan kelembaban ruangan pengering kopi dengan menerapkan logika fuzzy pada mikrokontroler. Sensor yang digunakan adalah sensor SHT11 [11], [12]. Sensor SHT11 memiliki keunggulan dari sisi akurasi kelembaban $\pm 3.0\%$ RH dan akurasi suhu 0.4°C dibanding dengan sensor LM35 [9] dengan akurasi 10C dan sensor DHT22 [10] yang tidak dapat mengukur kelembaban dibawah 11% yang merupakan standar maksimal kelembaban yang diperbolehkan untuk kadar air biji kopi dengan kualitas yang baik [13].

2. METODE PENELITIAN

Perancangan Sistem

Pada bagian ini akan dijabarkan perancangan sistem kendali suhu dan kelembaban ruangan pengering kopi menggunakan algoritma logika fuzzy berbasis mikrokontroler, seperti yang terlihat pada gambar berikut:

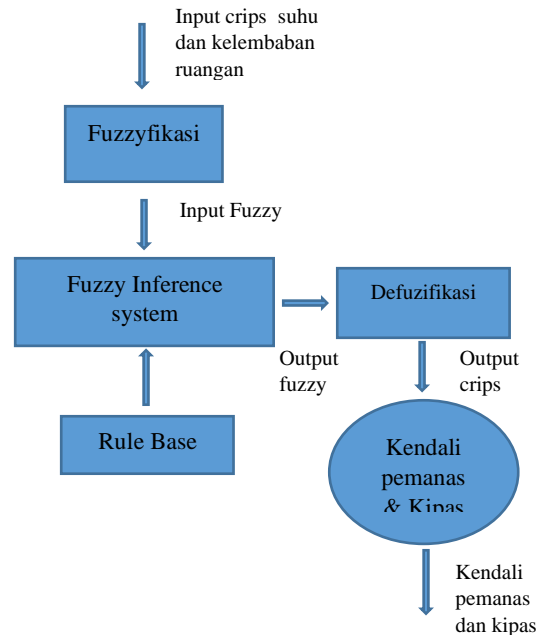


Gambar 1. Perancangan sistem kendali suhu dan kelembaban ruangan pengering biji kopi.

Pada Gambar 1, input sistem adalah sensor suhu dan kelembaban SHT11. Sensor tersebut untuk mendeteksi suhu dan kelembaban pada ruang pengering biji kopi. Sensor SHT11 mengirimkan data digital ke mikrokontroler. Tipe mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Due karena memiliki kecepatan akses data yang cepat [14], [15]. Untuk melakukan kendali suhu dan kelembaban pengeringan biji kopi, algoritma logika fuzzy diterapkan pada mikrokontroler sebagai unit pengambil keputusan berdasarkan masukan data suhu dan kelembaban. Suhu dan kelembaban terbaca merupakan himpunan crisp yang kemudian diolah sesuai dengan fungsi keanggotaan (fuzzyfikasi). Hasil fuzzyfikasi kemudian diproses sesuai dengan rule yang telah ditetapkan (inferensi), selanjutnya dilakukan proses defuzifikasi. Logika

fuzzy menggunakan metode Mamdani[16], [17]. Algoritma fuzzy yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengeringan biji kopi menggunakan pemanas udara (*heater*). *Blower* digunakan untuk menyebarkan udara panas pada ruangan. Jika kelembaban udara di ruangan pengering tinggi, *exhaust fan* akan mengeluarkan udara keluar ruangan. LCD digunakan untuk mengetahui suhu dan kelembaban pada proses pengeringan.



Gambar 2. Rancangan sistem kendali fuzzy

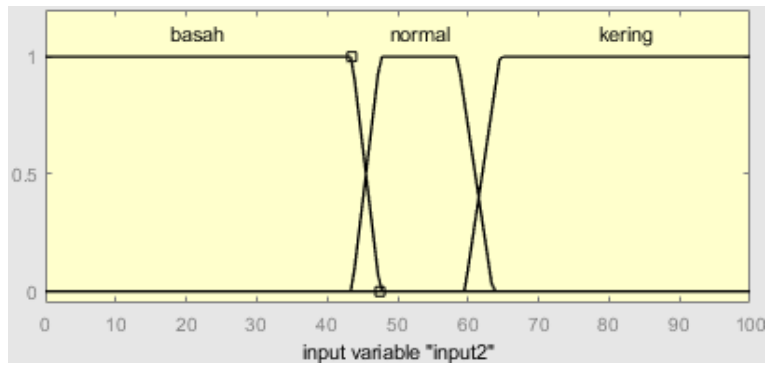
Pada Gambar 2, proses fuzzy terdiri dari 4 (empat) tahap:

1. *Fuzzyfikasi*
Fuzzyfikasi adalah proses mengubah input logika *crisp* (tegas) ke dalam himpunan fuzzy. Input dari fuzzy adalah suhu dan kelembaban, sedangkan outputnya adalah pemanas (*heater*) dan kipas (*blower*). Masing-masing input dibagi menjadi 3 himpunan fuzzy.
2. *Fuzzy inference system*
Tahap ini merupakan proses perumusan pemetaan dari input yang diberikan ke output dengan menggunakan logika fuzzy.
3. *Rule base*
Tahap ini berisi pernyataan-pernyataan logika fuzzy (*fuzzy statement*). Rule base dinyatakan dalam bentuk IF-THEN.
4. *Defuzzyfikasi*
Defuzzyfikasi adalah proses mengembalikan himpunan fuzzy ke nilai logika tegas (*crisp*).

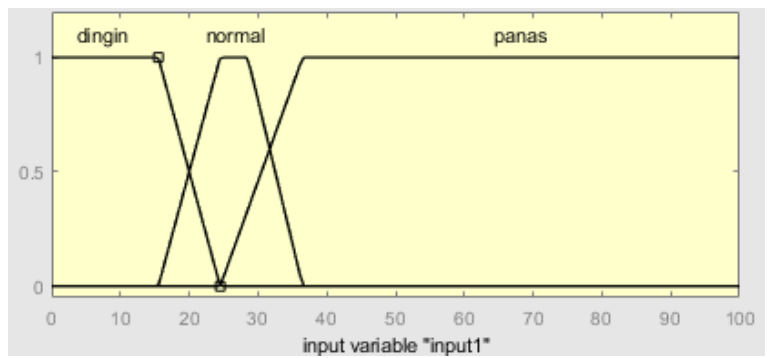
Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan proses penerjemahan output dalam bentuk fuzzy. Fuzzyfikasi memberikan nilai input dalam range 0 dan 1 [18], [19]. Gambar 3 menunjukkan input kelembaban. Semesta pembicaraannya 0-100 yang dibagi menjadi keadaan basah, normal dan kering. Gambar 4 menunjukkan input suhu. Semesta pembicaraan 0-100°C, meskipun batas atas yang efektif sekitar 50°C. Himpunan fuzzy suhu ada 3: dingin, normal, dan panas. Output sistem merupakan pemanas dan kipas yang diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Karena *heater* dan *blower* dikontrol dengan menggunakan modulasi lebar pulsa (PWM), maka semesta pembicaraan antara 0-255. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan output analog pada mikrokontroler yang memiliki resolusi 8 bit. Nilai output analog yang diperbolehkan antara 0-255. *Output*

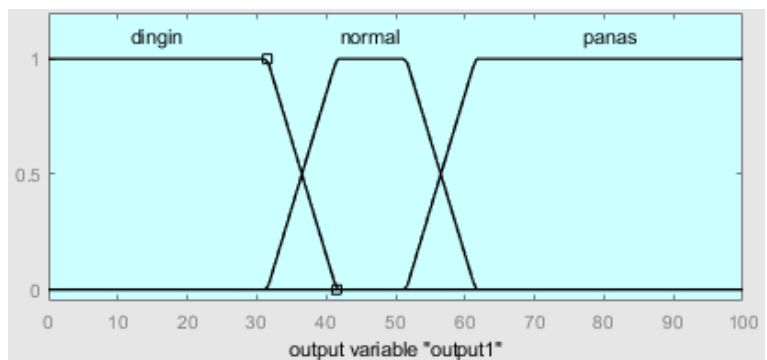
pemanas dibagi menjadi 3 himpunan fuzzy: **normal, hangat dan panas**, sedangkan untuk kipas dibagi menjadi **lambat, normal, dan cepat**.



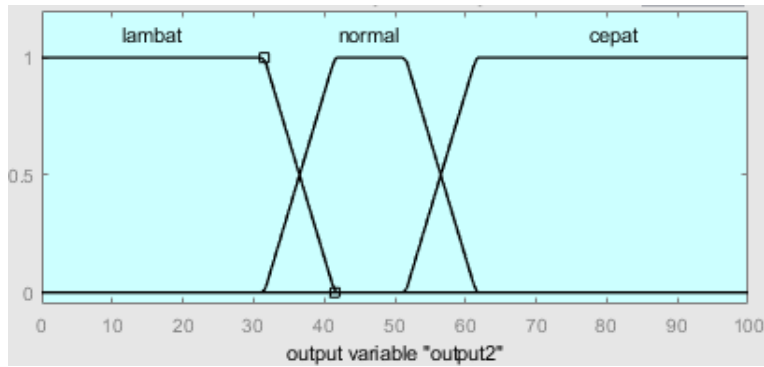
Gambar 3. Fungsi keanggotaan input kelembaban



Gambar 4. Fungsi keanggotaan input suhu



Gambar 5. Fungsi keanggotaan output pemanas



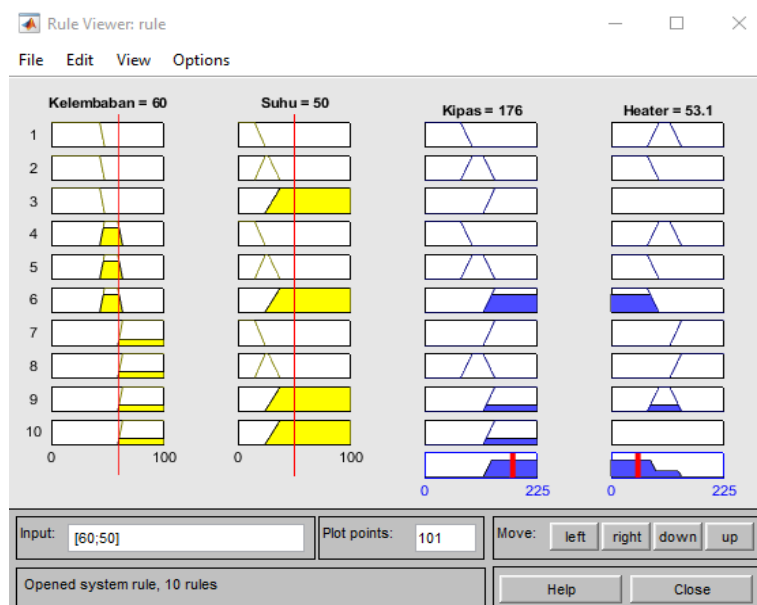
Gambar 6. Fungsi keanggotaan output kipas

Rule base

Rule berfungsi untuk menganalisis kondisi input yang telah ditentukan sebelumnya dalam bentuk membership function untuk menghasilkan himpunan fuzzy output[20]–[22]. Dalam kasus ini ditentukan dua buah variabel input dan dua buah variabel output. Input1 merupakan kondisi suhu ruangan, input2 merupakan kondisi kelembaban ruangan, output1 merupakan kondisi *heater*, sedangkan output2 merupakan kondisi kipas (*blower*). Terdapat 10 rule yang digunakan untuk mengatur kondisi *heater* dan kipas. *Rule* tersebut secara detail sebagai berikut:

- [1] If (Kelembaban is Kering) and (Suhu is Dingin) then (Kipas is Lambat)(Heater is Hangat) (1)
- [2] If (Kelembaban is Kering) and (Suhu is Normal) then (Kipas is Normal)(Heater is Normal) (1)
- [3] If (Kelembaban is Kering) and (Suhu is Panas) then (Kipas is Cepat) (1)
- [4] If (Kelembaban is Normal) and (Suhu is Dingin) then (Kipas is Lambat)(Heater is Hangat) (1)
- [5] If (Kelembaban is Normal) and (Suhu is Normal) then (Kipas is Normal)(Heater is Normal) (1)
- [6] If (Kelembaban is Normal) and (Suhu is Panas) then (Kipas is Cepat)(Heater is Normal) (1)
- [7] If (Kelembaban is Basah) and (Suhu is Dingin) then (Kipas is Cepat)(Heater is Panas) (1)
- [8] If (Kelembaban is Basah) and (Suhu is Normal) then (Kipas is Normal)(Heater is Panas) (1)
- [9] If (Kelembaban is Basah) and (Suhu is Panas) then (Kipas is Cepat)(Heater is Hangat) (1)
- [10] If (Kelembaban is Basah) and (Suhu is Panas) then (Kipas is Cepat) (1)

Secara grafik *rule base* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan *rule base* dalam bentuk grafik.

Gambar 7 merupakan simulasi kendali pengeringan biji kopi dengan software Matlab. Ketika kelembaban sebesar 60%, dan suhu 50°C, berdasarkan *rulebase* yang diberikan, akan didapatkan hasil *output* PWM untuk pemanas sebesar 53.1, berarti heater dalam kondisi normal, dan *output* PWM untuk kipas sebesar 176 yaitu dalam kondisi cepat. Hal ini bertujuan untuk mengurangi tingkat kelembaban ruangan sehingga kembali ke kondisi normal.

Sistem Logika Fuzzy Mikrokontroler

Algoritma logika fuzzy ini dapat berfungsi untuk mengendalikan kondisi udara dengan mengatur perangkat keras yang dirancang seperti pada Gambar 1 diisi dengan kode program algoritma logika fuzzy. Algoritma fuzzy diimplementasikan pada mikrokontroler dengan menggunakan library eFLL v1.0.10 yang kompatibel dengan tipe Fuzzy Mamdani dengan bahasa pemrograman C melalui aplikasi Arduino IDE. Hal pertama yang harus dilakukan yaitu mendefinisikan fungsi keanggotaan *input* dan *output* yang terdiri dari suhu, kelembaban, *heater*, dan *blower* sebagai berikut:

1. Fuzzy set suhu
 Dingin = [0 0 15 24]
 Normal = [15 24 27 37]
 Panas = [24 37 100 100]
2. Fuzzy set kelembaban
 Kering = [0 0 43 47]
 Normal = [43 47 59 63]
 Basah = [59 63 100 100]
3. Fuzzy set *heater*
 Normal = [0 0 72 95]
 Hangat = [72 95 117 140]
 Panas = [117 140 225 225]
4. Fuzzy set *blower*
 Lambat = [0 0 72 94.5]
 Normal = [72 95 117 140]
 Cepat = [117 140 225 225]

Langkah selanjutnya mendefinisikan fungsi keanggotaan secara matematis, kemudian persamaan tersebut diimplementasikan dalam sebuah fungsi. Fungsi keanggotaan suhu dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Keanggotaan dingin

1	$suhu \leq 15^{\circ}C$
$\frac{24 - suhu}{9}$	$15^{\circ}C \leq suhu \leq 24^{\circ}C$
0	$suhu \geq 24^{\circ}C$
2. Keanggotaan normal

0	$suhu \leq 15^{\circ}C$
$\frac{suhu - 24}{9}$	$15^{\circ}C \leq suhu \leq 24^{\circ}C$
1	$24^{\circ}C \leq suhu \leq 27^{\circ}C$
$\frac{37 - suhu}{10}$	$27^{\circ}C \leq suhu \leq 37^{\circ}C$
0	$suhu \geq 37^{\circ}C$
3. Keanggotaan panas

0	$suhu \leq 24^{\circ}C$
-----	-------------------------

$$\frac{suhu - 37}{11} \quad 15^{\circ}\text{C} \leq suhu \leq 24^{\circ}\text{C}$$

$$1 \quad suhu \geq 37^{\circ}\text{C}$$

Setelah persamaan fungsi keanggotaan ditulis, langkah selanjutnya adalah implementasi dalam kode C sebagai berikut:

```

    Unsigned char suhu_dingin(){
    If(suhu<= 15){dingin=1;}
    else if (suhu>= 15 && suhu<=24){dingin=(24-suhu)/9;}
    else if (suhu>=24){dingin=0;}
    return dingin;
    }
    
```

dengan cara yang sama untuk fungsi keanggotaan normal dan panas dibuat kode berdasarkan persamaan matematis yang telah di cantumpakn pada bagian sebelumnya. Pada sisi output heater dan kipas dihubungkan ke analog output yang terletak pada PIN 5 dan PIN 6 arduino uno agar dapn menggunakan PIN tersebut perlu dideklarasikan pada awal program sebagai berikut:

```

#define heaterPin 5
#define kipasPin 6
    
```

Selanjutnya untuk menyalakan kipas dan heater digunakan instruksi analogWrite() sebagai berikut:

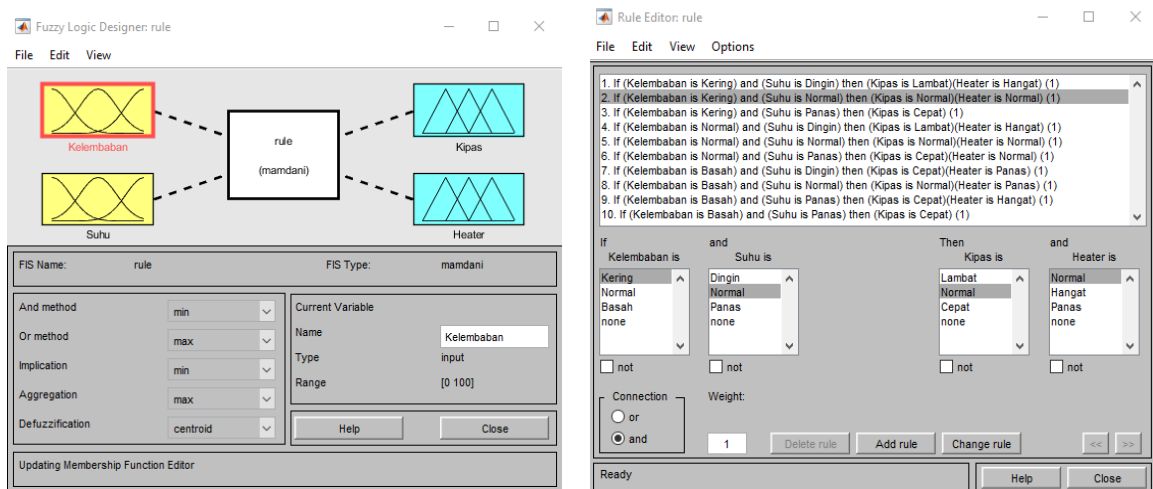
```

analogWrite(heaterPin, heater);
analogWrite(kipasPin, kipas);
    
```

Nilai heater dan kipas merupakan nilai PWM yang dihitung berdasarkan *rulebase* yang telah dibuat yang sebelumnya melalui proses implikasi dan defuzzyfikasi.

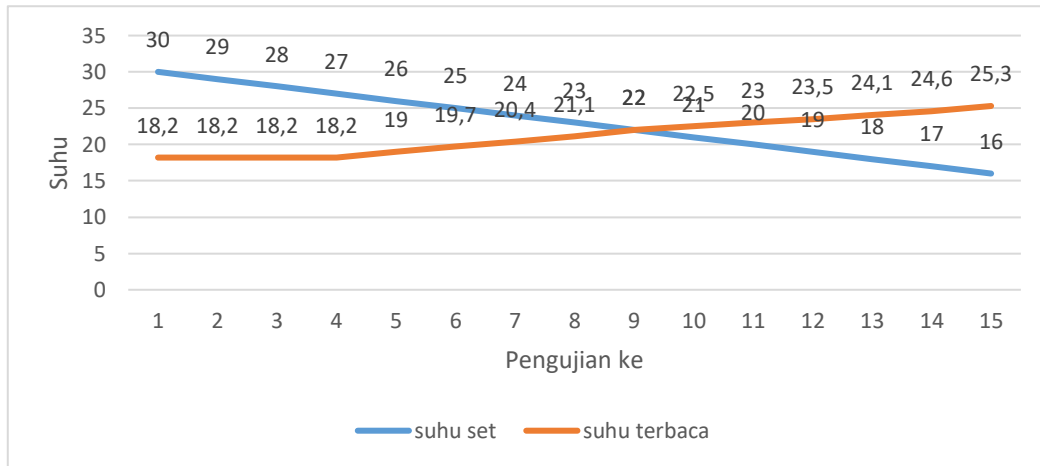
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini pengujian telah dilakukan pada algoritma logika fuzzy yang dirancang menggunakan FIS Editor Matlab, dan diperoleh hasil simulasi seperti pada Gambar 8. Terdapat 10 buah rule yang dihasilkan untuk diterapkan pada pengendalian suhu dan kelembaban ruangan pengering kopi yang di rancang pada Bab II.



Gambar 8:(a) *Fuzzy logic designer* editor pada MATLAB. (b) *Rule editor* dari sistem FIS yang dirancang.

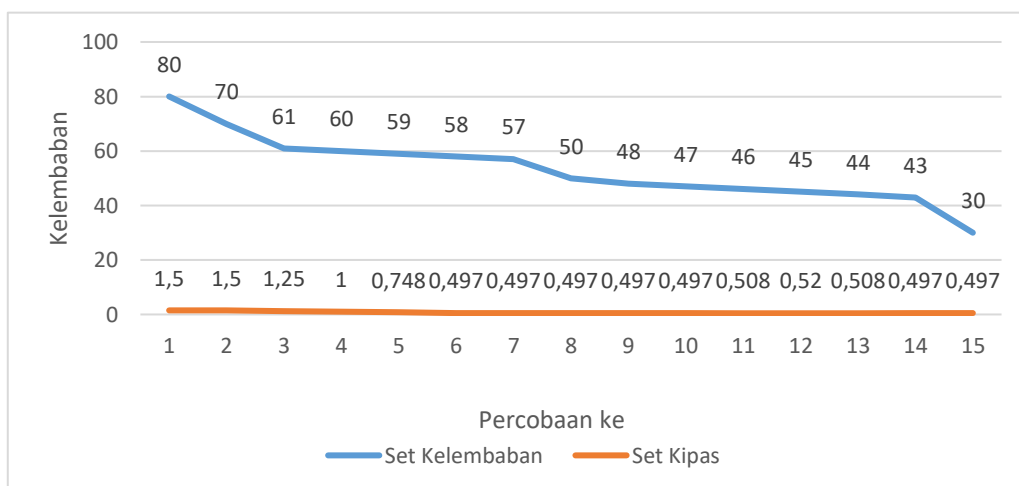
Saat suhu ruangan di atas nilai yang ditetapkan maka pengontrol logika fuzzy akan mencoba untuk menormalkan suhu ruang dengan mengatur suhu pemanas ke angka di bawah nilai setting, sehingga pemanas akan menghasilkan lebih dingin untuk mencapai suhu setting yang diinginkan. Demikian pula sebaliknya ketika suhu ruang di bawah suhu setting, pengontrol logika fuzzy akan mencoba untuk menormalkan suhu dengan mengatur suhu udara heater ke angka di atas kisaran suhu setting. Hal ini menyebabkan pemanas akan menaikkan temperatur agar tercapai suhu ruangan sesuai dengan settingan yang diinginkan.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian suhu

Grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa sumbu-x merupakan pengujian ke-n, dan sumbu-y menunjukkan nilai magnitudo suhu yang terbaca. Logika fuzzy kontroler menunjukkan variasi suhu ruang pengering ketika suhu set yang ditunjukkan dengan grafik berwarna biru terlalu rendah (kurang dari suhu setting sebesar 220C), maka suhu heater terbaca akan meningkat, seperti yang ditunjukkan pada grafik berwarna coklat, begitu pula sebaliknya ketika suhu di set tinggi maka suhu heater perlahan akan mengalami pengurangan.

Pengaturan kelembaban ruangan, sistem yang diusulkan mencoba menyesuaikan pengaturan kecepatan kipas. Jika kelembaban terlalu tinggi maka pengontrol logika fuzzy akan mengatur kipas ke mode cepat, sehingga kipas menyala kecepatan tinggi, sehingga bisa mengurangi kelembaban. Ketika kelembaban kembali ke kisaran normal maka logika fuzzy kontroler akan mengatur kipas kembali ke mode normal.



Gambar 10. Grafik hasil pengujian kelembaban

Dari hasil percobaan seperti yang ditunjukkan pada grafik Gambar 10, sumbu x menunjukkan percobaan ke-n, dan sumbu y menunjukkan besarnya nilai *setting* kelembaban (garis biru) dan *setting blower* yang diperoleh (garis coklat). Logika fuzzy menghasilkan output sesuai dengan yang diinginkan yaitu pada rentang kelembaban 30-80%. Ketika kelembaban normal antara 45%-60% maka fuzzy menghasilkan output dengan nilai ≤ 1 yang berarti normal kelembaban dan kipas pada mode normal, tapi ketika kelembaban di atas 60% maka fuzzy menghasilkan output nilai > 1 yang berarti kelembaban tinggi sehingga kipas akan diatur ke mode lambat.

Dalam penelitian ini selain menguji output logika fuzzy dengan software MATLAB, pengujian juga dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma logika fuzzy pada mikrokontroler dengan langkah yang telah dibahas pada subbab II.D, diperoleh hasil perbandingan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan simulasi Matlab dengan hasil mikrokontroler

T	H	Suhu		Deviasi	Kelembaban		Deviasi
		Matlab	Micro		Matlab	Micro	
16	35	25.2	25.24	0.04	0.497	0.5	0.003
17	40	24.6	24.59	0.01	0.504	0.51	0.006
18	43.5	24	24.02	0.02	0.512	0.52	0.008
20	44	23	23.06	0.06	0.508	0.51	0.002
20	44.5	23.1	23.16	0.06	0.514	0.52	0.006
21	45	22.8	22.83	0.03	0.52	0.53	0.01
22.5	46.5	21.5	21.47	0.03	0.502	0.51	0.008
22	50	22	22	0	0.497	0.5	0.003
22	60	22	22	0	1	0.87	0.13
23	60.5	20.9	20.89	0.01	1.13	1.12	0.01
24	60.5	20.2	20.27	0.07	1.13	1.12	0.01
24	65.5	20.4	20.41	0.01	1.49	1.49	0
24	72	20.4	20.41	0.01	1.49	1.49	0
25	78	19.7	19.79	0.09	1.48	1.48	0
29	80.5	18.2	18.26	0.06	1.5	1.5	0
29.1	86.8	18.2	18.26	0.06	1.5	1.5	0
Simpangan rata-rata suhu pemanas				0.03500	Simpangan rata-rata kelembaban		0.01225

T merupakan suhu ruang pengering, dan H merupakan kelembaban relatif. Berdasarkan data pada Tabel 3 diperoleh nilai simpangan rata-rata hasil pengukuran yang relatif kecil. Hal tersebut menunjukkan tingkat repeatability dan reproductivity yang baik untuk sebuah instrumen pengukuran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem kendali logika fuzzy berbasis mikrokontroler yang dirancang dapat mengontrol suhu dan kelembaban ruang pengering kopi. Logika fuzzy berhasil diimplementasikan ke dalam mikrokontroler dengan menggunakan 10 buah *rulebase* yang dihasilkan dari kombinasi fungsi keanggotaan suhu, kelembaban, kipas dan heater. Hasil pengujian dengan membandingkan hasil simulasi menggunakan MATLAB dengan hasil implementasi pada mikrokontroler. Pengendalian dapat mempertahankan suhu ruang pengering dengan beberapa nilai set awal yang telah ditentukan. Pada pengujian sistem pendeteksi suhu dan kelembaban diperoleh nilai standar deviasi output rata-rata suhu adalah 0.03500 dan deviasi output pengaturan kipas rata-rata adalah 0.01225,

dapat dikatakan baik karena nilai tersebut dibawah nilai rata-rata yaitu sebesar 0.04 dan 0.13 masing-masing untuk suhu dan kelembaban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan untuk Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Tidar atas pendanaan proposal Penelitian Dosen Madya tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Poerwanti, "PENGARUH SUHU DAN LAMA FERMENTASI KOPI TERHADAP KADAR KAFEIN," *AGP*, vol. 10, no. 2, pp. 124–130, Sep. 2021, doi: 10.51978/agro.v10i2.293.
- [2] R. Priamudi, "ALAT UJI KADAR AIR PADA BIJI KOPI BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO R3," *Jurnal Portal Data*, vol. 2, no. 2, Mar. 2022, [Online]. Available: <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/76>
- [3] F. H. Purwanto, E. Utami, and E. Pramono, "Design of server room temperature and humidity control system using fuzzy logic based on microcontroller," in *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, Yogyakarta: IEEE, Mar. 2018, pp. 390–395. doi: 10.1109/ICOIACT.2018.8350770.
- [4] A. Sunardi, D. Agus, H. Aditya, and W. Susila, "Online air velocity control, temperature and humidity monitoring system for clean room using Raspberry Pi," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 550, no. 1, p. 012011, Jul. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/550/1/012011.
- [5] S. A. U. R. Omer and E. Muhammad, "Design of intelligent air conditioner controller using fuzzy logic," in *2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT)*, Karachi, Pakistan: IEEE, Apr. 2017, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICIEECT.2017.7916556.
- [6] A. Iskandar, "Implementasi IoT Pada Sistem Monitoring dan Kendali Otomatis Suhu Dan Kelembaban Ruangan Sarang Burung Walet Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Cyber Tech*, vol. 4, no. 8, 2022.
- [7] Y. Yolnardi, A. Arviansyah, D. Irfan, and A. Ambiyar, "Rancang Bangun Pengontrol Suhu Ruangan Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 218–226, 2020.
- [8] N. U. Ahamed, Z. B. Taha, I. B. M. Khairuddin, M. F. Rabbi, S. A. M. M. Rahaman, and K. Sundaraj, "Fuzzy logic controller design for intelligent air-conditioning system," in *2016 2nd International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)*, Singapore: IEEE, Jul. 2016, pp. 232–236. doi: 10.1109/CCSSE.2016.7784388.
- [9] J. Shaati Jahlool, "Design and Simulation of Automatic Temperature Control and Alert System Based PIC16F887," *APTİKOM Journal Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 77–85, Jul. 2017, doi: 10.11591/APTIKOM.J.CSIT.108.
- [10] S. Kunjumon, K. Pinto, and J. Saldanha, "Temperature and humidity monitoring and alert management system," *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 4, no. 4, pp. 349–351, 2016.
- [11] Y. Karinia, V. Violita, H. Tarigan, N. Y. Sudiar, and Y. Yulkifli, "Soil moisture measurement tools using SHT11 sensors based on the Internet of Things," *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, vol. 21, no. 3, pp. 165–174, 2021.
- [12] L. Yu, Q. Zhang, X. Meng, and Z. Yan, "Design of the granary temperature and humidity measure and control system based on Zigbee wireless sensor network," in *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering*, IEEE, 2011, pp. 1055–1058.
- [13] A. P. Hidayat and R. Siskandar, "Karakteristik Fisik Kopi Arabika Berbagai Daerah di Indonesia Pada Tingkat Penyangraian Sama," *Jurnal Sains Indonesia*, vol. 3, no. 2, pp. 86–92, 2022.
- [14] T. P. Satya, M. R. Al Fauzan, and E. M. D. Admoko, "Sensor ultrasonik HCSR04 berbasis arduino due untuk sistem monitoring ketinggian," *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, vol. 15, no. 2, pp. 36–39, 2019.
- [15] I. J. Sasongko and M. Rivai, "Mesin pemanggang biji kopi dengan suhu terkendali menggunakan arduino due," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 2, pp. F239–F244, 2018.
- [16] S. Sunanto, R. Firdaus, and M. S. Siregar, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Pada Kendali Suhu dan Kelembaban Ruang Server," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 2, no. 2, pp. 128–136, 2021.
- [17] N. Iksan, L. Hidayati, T. Andrasto, and K. Fathoni, "Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan pada Alat Penetas Telur Berbasis Fuzzy Logic Controller," *JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika)*, vol. 8, no. 2, pp. 245–254, 2022.
- [18] A. D. Putri and A. Maulana, "Penerapan Metode Mamdani Fuzzy Logic untuk Menentukan Pembelian Alat Berat dalam Proyek Migas di PT SMOE Indonesia," *Jurnal Desain Dan Analisis Teknologi*, vol. 2, no. 2, pp. 138–149, 2023.
- [19] N. Jarti, "IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY UNTUK PEMILIHAN SEPEDA MOTOR MEREK HONDA DENGAN METODE MAMDANI," *JR: Jurnal Responsive Teknik Informatika*, vol. 2, no. 01, pp. 51–58, 2018.
- [20] O. Cerdón, "A historical review of evolutionary learning methods for Mamdani-type fuzzy rule-based systems: Designing interpretable genetic fuzzy systems," *International journal of approximate reasoning*, vol. 52, no. 6, pp. 894–913, 2011.
- [21] L.-C. Duğu, G. Mauris, and P. Bolon, "A fast and accurate rule-base generation method for Mamdani fuzzy systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 2, pp. 715–733, 2017.
- [22] X. Li, T. Zhao, P. Fan, and J. Zhang, "Rule-based fuzzy control method for static pressure reset using improved Mamdani model in VAV systems," *Journal of Building Engineering*, vol. 22, pp. 192–199, 2019.