

# Penstabilan Suhu Pengeringan Kopi dengan Kontrol Logika Fuzzy

## *Stabilization of Coffee Drying Temperature with Fuzzy Logic Control System*

**Rangga Al Arif<sup>\*</sup>, Yusrila Yeka Kerlooza**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer  
Universitas Komputer Indonesia Jl. Dipati ukur No 112, Bandung

\*Email : rangga90@mahasiswa.unikom.ac.id

**Abstrak** – Pengeringan kopi metode konvensional yaitu dengan cara dijemur di bawah sinar matahari langsung, memiliki kekurangan yaitu suhu lingkungan yang tidak bisa diprediksi. Untuk meminimalisir kekurangan tersebut maka harus dibuat suatu alat yang mampu mengeringkan gabah secara optimal. Tujuan penelitian ini adalah membuat sebuah alat pengering gabah dengan sistem *rotary dryer* yang mampu menstabilkan suhu pada ruang pengering sebesar 40 °C sehingga mampu mengeringkan gabah dengan hasil kadar air adalah 12%-14%. Metode penelitian yang digunakan adalah sistem kendali logika fuzzy yang berfungsi untuk mengatur suhu di dalam ruang pengering dengan cara mengatur bukaan katup yang terhubung dengan motor servo SG90. Diskusi pada penelitian ini tentang digunakannya metode logika fuzzy adalah metode logika fuzzy dapat memetakan nilai yang samar antara suhu panas dan suhu dingin pada ruang pengering. Hasil dari penelitian ini adalah jumlah anggota fuzzy yang tepat untuk digunakan pada sistem logika fuzzy adalah 5 anggota dan kadar air gabah setelah proses pengeringan adalah 13,7%. Dampak nyata setelah melakukan pengujian pencarian jumlah anggota fuzzy yang tepat adalah, alat ini mampu menjaga kestabilan suhu pada ruang pengering disekitar 40 °C.

**Kata kunci :** *Anggota Fuzzy, Himpunan Fuzzy, Logika Fuzzy, Motor Servo SG90, Rotary Dryer*

**Abstract** - *The conventional method of drying coffee, which is by drying in direct sunlight, has a disadvantage, namely the unpredictable environmental temperature. To minimize these shortcomings, a tool that is able to dry grain optimally must be made. The purpose of this study was to make a grain dryer with a rotary dryer system that was able to stabilize the temperature in the drying chamber at 40 °C so that it was able to dry grain with a moisture content of 12%-14%. The research method used is a fuzzy logic control system that functions to regulate the temperature in the drying chamber by adjusting the valve opening which is connected to the SG90 servo motor. The discussion in this study about the use of the fuzzy logic method is that the fuzzy logic method can map the faint values between hot and cold temperatures in the drying chamber. The results of this study are the number of fuzzy members that are appropriate for use in the fuzzy logic system is 5 members and the moisture content of the grain after the drying process is 13.7%. The real impact after testing the search for the right number of fuzzy members is that this tool is able to maintain a stable temperature in the drying chamber around 40 °C.*

**Keywords :** *Membership Fuzzy, Fuzzy Logic, Fuzzy Set, Motor Servo SG90, Rotary Dryer.*

## I. PENDAHULUAN

Kopi menjadi salah satu komoditas utama di Indonesia, kopi sangat digemari oleh masyarakat Indonesia karena memiliki rasa yang khas dan juga manfaat untuk menjaga kebugaran badan saat menagalami kelelahan, dan menjaga mata tetap terjaga saat sudah berapa dikondisi yang mengantuk. Karena animo masyarakat yang tinggi akan kopi, menjadikan Indonesia sendiri menduduki posisi ke empat sebagai produsen kopi tertinggi di dunia pada tahun 2016-2017[1]. Karena itulah kopi memiliki nilai ekonomi yang

tinggi dan memberikan kontribusi yang tinggi untuk ekonomi di Indonesia.

Untuk menjaga kualitas kopi yang akan dikonsumsi, proses pengeringan kopi juga menjadi aspek yang penting untuk mendapatkan kualitas kopi yang baik. Proses pengeringan kopi cukup rawan dilakukan dan cukup memerlukan tingkat kehati-hatian yang tinggi, karena pengeringan yang kurang baik dapat menyebabkan mikroba di dalam kopi masih hidup dan menjadikan kualitas kopi menjadi buruk[2].

### A. Latar Belakang

Oven gabah digunakan untuk memenuhi kebutuhan pasar kopi yang semakin tinggi. Banyak yang sudah membuat alat pemanas gabah, tetapi masih belum banyak petani yang menggunakannya. Harga pemanas gabah di pasaran cukup mahal, jadi para petani lebih baik menggunakan metode pengering gabah konvensional. Petani di Indonesia selama ini telah terbiasa melakukan pengeringan gabah dengan cara konvensional salah satunya gabah kopi, yaitu dengan cara dijemur langsung di bawah sinar matahari. Pengeringan gabah konvensional memiliki sebuah kelemahan yaitu sangat tergantung kepada cuaca yang sulit diprediksi, pengeringan gabah dengan cara konvensional membutuhkan waktu yang sangat lama, yaitu bisa mencapai 3-7 hari atau bahkan lebih[3].

Gabah yang dikeringkan tidak hanya cukup kering saja, tetapi harus memenuhi standar kadar air yang ada di dalam gabah. Kadar air ideal gabah adalah 12-14%, jika lebih dari 12% -14% maka kopi akan mudah terkena cendawan/jamur sehingga gabah kopi akan mudah busuk sehingga bisa dibuang kadaluarsa, sedangkan jika kurang dari 12% maka gabah kopi akan mudah pecah[4]. Penstabilan suhu pada ruang pengering juga merupakan aspek yang penting dalam hal pengeringan karena itulah diperlukan sebuah kontrol untuk mengatur kestabilan suhu tersebut, karena itulah metode logika fuzzy digunakan pada penelitian.

### B. Tinjauan *State of Art*

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Derisma, dkk menggunakan *solar tracking system* sebagai sistem kendali dengan nilai acuan sebesar 45 °C pada ruang pengering gabah. Tetapi pada penelitian tersebut tidak menggunakan sistem umpan balik untuk mengurangi pemborosan energi pada saat proses pengeringan gabah [5]. Penelitian yang dilakukan M.A. Delele telah menggunakan sistem *rotary dryer* untuk mengeringkan gabah. Tetapi pada penelitian tersebut tidak menggunakan sistem logika fuzzy sebagai pengendali suhu pada ruang pengering dan juga sistem umpan balik untuk menurunkan pembuangan energi yang terbuang sia-sia [6]. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh peneliti, Y.Y.Kerlooza meneliti tentang alat pengering kopi dengan menggunakan logika fuzzy sebagai sistem pengendali suhu[7].

### C. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari jumlah keanggotaan fuzzy yang tepat untuk

diterapkan pada sistem logika fuzzy. Dengan jumlah keanggotaan fuzzy yang tepat, diharapkan mampu menstabilkan suhu dengan acuan 40 °C. Kadar air gabah setelah dikeringkan diharapkan sebesar 12%-14% dengan tingkat perhitungan kadar air yang ada di dalam gabah kopi.

### D. Sistematika Pembahasan

Makalah ini diorganisasikan sebagai berikut. Bagian 2 akan menjelaskan mengenai perancangan pengendali sistem dari metode pengeringan *rotary dryer*. Bagian 3 akan menyajikan hasil pengujian dan analisa dari alat pengering gabah yang telah dirancang. Adapun kesimpulan dan saran akan disajikan pada Bagian 4.

## II. METODOLOGI

Perancangan alat pada penelitian ini terdiri dari beberapa bagian, baik itu pemilihan sistem yang digunakan, perancangan sistem *rotary dryer*, perancangan perangkat keras, dan juga perancangan perangkat lunak. Pada bagian pemilihan sistem meliputi sistem kendali yang digunakan, sistem penghalusan data, perancangan *rotary dryer* meliputi perancangan tong pengering dan saluran udara, perancangan perangkat lunak meliputi pengaturan himpunan fuzzy yang digunakan.

Kontrol suhu pada ruang pengering adalah aspek yang penting dalam hal pengeringan menggunakan mesin, karena kestabilan suhu pada ruang pengering, akan berpengaruh pada baiknya mutu produk yang dikeringkan. Logika fuzzy merupakan salah satu sistem kontrol yang umum digunakan, logika fuzzy berfungsi untuk mencari nilai samar diantara nilai 0 dan 1, karena umumnya komputer hanya membaca nilai biner yaitu 0 dan 1, karena itulah diperlukan sebuah sistem yang memetakan nilai antara 0 dan 1 tersebut, karena pada kondisi nyata, khususnya pada proses pengeringan gabah, tidak bisa hanya mengandalkan dua kemungkinan jenis kondisi, dingin atau panas, tapi tentunya membutuhkan penalaran unruk memetakan nilai suhu masukan. Pada pengendalian logika fuzzy terdapat beberapa bagian, yaitu bagian masukan, bagian proses fuzzyfikasi, penalaran/aturan dasar, defuzzyfikasi, dan terakhir bagian keluaran[8], bagian proses logika fuzzy terdapat pada **Gambar 1**.

Masukan yang masuk ke logika fuzzy merupakan nilai suhu yang terdapat pada ruang pengering, yang telah dideteksi oleh sensor DHT11, masukan yang dibaca oleh sensor DHT11 merupakan nilai numerik yang berupa suhu menjadi nilai linguistik. Setelah perubahan nilai

masukan terjadi, maka nilai tersebut akan dipetakan dan ditentukan ke dalam anggota fungsi fuzzy. Setelah itu nilai masukan akan diproses pada aturan dasar logika fuzzy dengan metode *If-Then* dimana *If* menggambarkan kondisi masukan fuzzy, dan *Then* merupakan reaksi sistem atas masukan yang telah mengalami proses penalaran, sehingga sistem dapat membuat sebuah keputusan tindakan yang akan diambil pada bagian keluaran.[8] Langkah selanjutnya dari proses kendali logika fuzzy adalah proses defuzzyfikasi, proses ini adalah proses merubah kembali nilai linguistik yang telah didapatkan saat proses penalaran dan aturan dasar, menjadi nilai numerik kembali, sehingga nilai tersebut dapat dibaca oleh motor servo yang akan mengatur lebar bukaan katup.



Gambar 1. Proses Logika Fuzzy

Metode penghalusan data merupakan metode yang penting demi mengurangi kesalahan pada saat proses pembacaan nilai masukan, karena itulah pada penelitian ini digunakanlah sebuah metode penghalusan data berupa *moving average*. EWMA (*Exponentially Meighted Moving Average*) adalah sistem penghalusan dari suatu nilai, berdasarkan pembacaan dari nilai sebelumnya, metode ini diperlukan karena jika ada kesalahan pada saat pembacaan nilai terbaru, maka data sebelumnya dapat menjadi acuan untuk mengurangi kesalahan pembacaan data[9].

Perancangan *rotary dryer* yang digunakan menggunakan bahan flat besi dengan ketebalan 2mm. Dimensi dari ruang pengering adalah 30 cm dengan panjang 37 cm, saluran udara yang masuk ke ruang pengering menggunakan saluran PVC dengan diameter 3 inci dengan satu arah hembusan panas dari ruang pengering, silinder pengering diputar secara kontinyu oleh gabah motor menggunakan *v-belt*, bentuk dari sistem *rotary dryer* terdapat pada **Gambar 2**.

Pada **Gambar 2** terlihat silinder pengering yang digunakan dapat menampung gabah yang dikeringkan sampai dengan 4 kg gabah. Sensor yang digunakan akan ditempatkan di saluran

udaran masuk sehingga tidak akan terganggu saat silinder pengering berputar mengeringkan gabah.



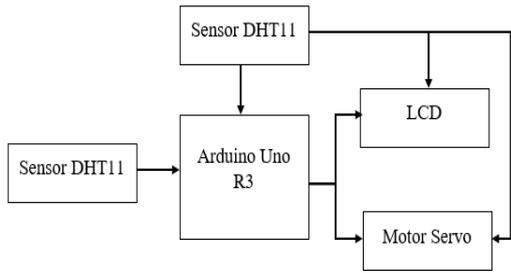
Gambar 2. Bentuk Rotary Dryer

Komponen yang digunakan pada penelitian ini dipilih berdasarkan fungsi yang dapat menunjang untuk menjalankan tugas dari masing bagian-bagian pada penelitian. Pada bagian masukan terdapat sensor DHT11, bagian proses terdapat mikrokontroller Arduino UNO R3, pada bagian keluaran terdapat LCD dan Servo. Sensor DHT11 memiliki keluaran sinyal numerik yang akan diproses oleh mikrokontroller pada sistem fuzzy.

Arduino memiliki UNO memiliki 14 pin masukan/keluaran, yang mana 6 buah pin yang dapat digunakan sebagai keluaran PWM, 6 masukan nalaog, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, *power input*, kepala ICSP, dan tombol *reset*. Dibanding dengan mikokontroller jenis lain, arduino memiliki kelebihan tersendiri, seperti bersifat *open source*, bahasa pemrograman C, dan juga arduino memiliki *loader* yang memudahkan dalam memasukkan program[10].

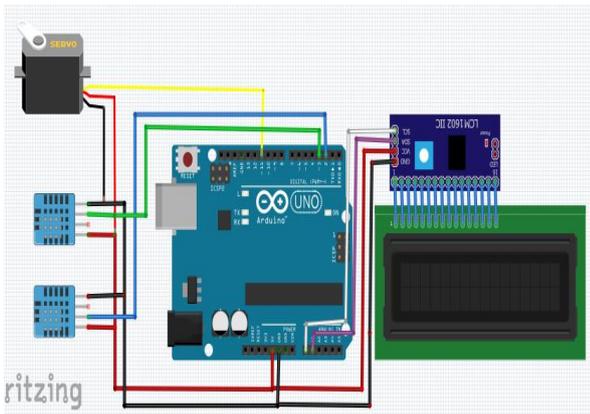
Motor servo SG90 adalah salah satu komponen elektronika berjenis aktuator berbasis motor dan *gearbox* yang berfungsi untuk menambah torsi pada motor servo dengan cara memperlambat putaran motor[11]. Motor servo pada penelitian ini berfungsi untuk mengatur bukaan katup sebagai jalan masuknya udara segar dari luar pengering, sehingga dapat masuk kepengering dan menurunkan suhu pada ruang pengering jika melebihi 40°C.

Perancangan dilakukan sehingga alat dapat bekerja sebagaimana mestinya, pada sistem ini terdapat 3 bagian yaitu bagian masukan, bagian kendali dan bagian keluaran. Pada bagian masukan terdapat sensor DHT11 untuk mengindra suhu pada ruang pengeringan yang menjadi masukan fuzzy, Arduino Uno R3 digunakan untuk mengendalikan sistem logika fuzzy yang akan mengatur sebuah aktuator berupa motor servo SG90, bentuk dari blok diagram terdapat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Blok Diagram

Pada Gambar 3 blok diagram, bagian masukan sistem menggunakan satu buah sensor DHT11 yang ditempatkan pada saluran masuk ke ruang silinder pengering, data dari sensor DHT11 akan mengalami proses penghaslusan data terlebih dahulu, untuk mengurangi kesalahan pada saat proses pembacaan nilai pada sensor. Bagian proses terdapat satu buah mikrokontroller arduino yang memproses suhu yang telah dibaca oleh DHT11 untuk nantinya digunakan sebagai masukan logika fuzzy, pada bagian keluaran terdapat satu buah LCD yang berfungsi sebagai tampilan dari suhu yang dibaca oleh sensor DHT11 yang telah mengalami proses penghalusan data, pada bagian keluaran juga terdapat sebuah aktuator berupa motor servo SG90 sebagai pengatur katup sebagai jalan masuk udara segar yang digunakan untuk menurunkan suhu pada ruang pengering. Setelah perancangan blok diagram untuk lebih jelasnya dapat melihat skematik rangkaian yang terdapat pada Gambar 4.



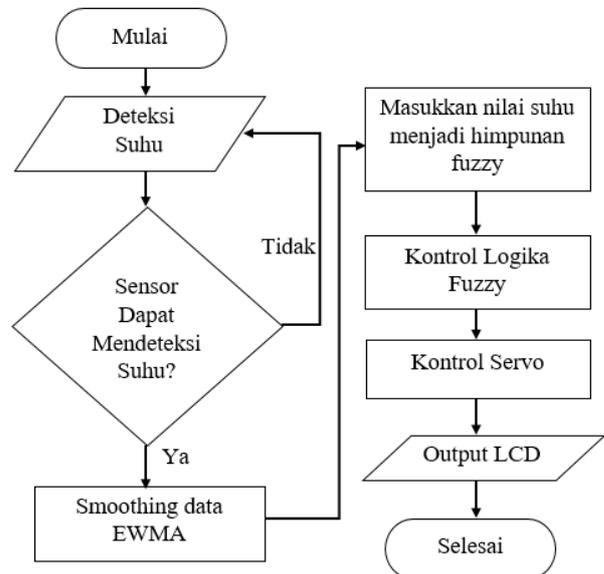
Gambar 4. Skematik Rangkaian

Jalur kaki komponen akan saling terhubung untuk mnyalurkan tegangan antar komponen. Dari perancangan komponen yang dirancang dapat diperjelas menggunakan penjelasan-penjelasan yang akan terdapat pada Tabel I.

Tabel I. Saluran Kaki Komponen

Kaki Komponen	Kaki Arduino
VCC DHT11 nomor 1	VCC Arduino
GND DHT11 nomor 2	GND Arduino
Output DHT11 nomor 1	Kaki digital 2
VCC DHT11 nomor 1	VCC Arduino
GND DHT11 nomor 2	GND Arduino
Output DHT11 nomor 1	Kaki digital 3
VCC Motor servo SG90	VCC Arduino
GND Motor servo SG90	GND Arduino
Data Motor servo SG90	Kaki digital 11
VCC LCD	VCC Arduino
GND LCD	GND Arduino
SDA LCD	A0 Arduino
SCL LCD	A1 Arduino

Perancangan perangkat keras adalah langkah awal pada penelitian, setelah perangkat keras bekerja maka dibutuhkan penjelasan yang cukup rinci untuk memaparkan cara kerja pada sistem tersebut. Flowchart pada penelitian ini berfungsi untuk menggambarkan dan menyederhanakan proses dari baris program yang akan digunakan sehingga dapat mudah dipahami berdasarkan urutan langkah dari proses pengeringan gabah, bentuk flowchat pada penelitian ini terdapat pada Gambar 5.



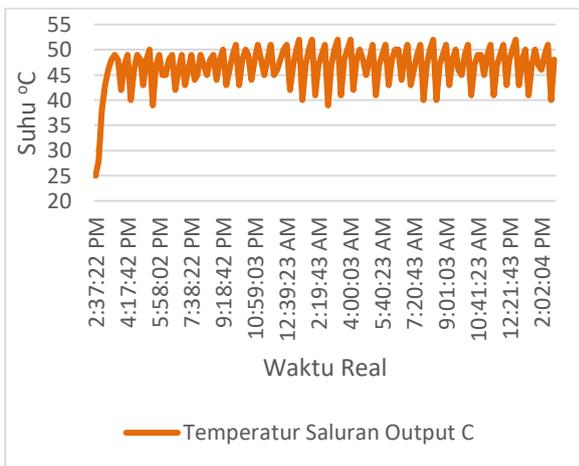
Gambar 5. Flowchart Sistem

Penjelasan dari Gambar 5 adalah pertama-tama menjalankan alat serta program, kemudian mendeteksi suhu pada ruang pengering yang dilakukan oleh DHT11, jika sensor dapat mengindra suhu pada ruang pengering, maka langkah selanjutnya adalah data akan dihaluskan melalui metode EWMA, sehingga bisa mengurangi

kesalahan pada pembacaan suhu, dan juga nilai yang masuk sebagai masukan fuzzy menjadi lebih tepat, tetapi jika sensor tidak mendeteksi suhu, maka sensor akan terus mencoba mendeteksi suhu. Nilai suhu setelah dihaluskan akan menjadi masukan fuzzy, yang akan menjadi acuan atau tolak ukur, untuk mengatur bukaan katup yang diatur oleh servo, nilai suhu kemudian akan ditampilkan oleh LCD sebagai pemberitahuan untuk pengguna.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

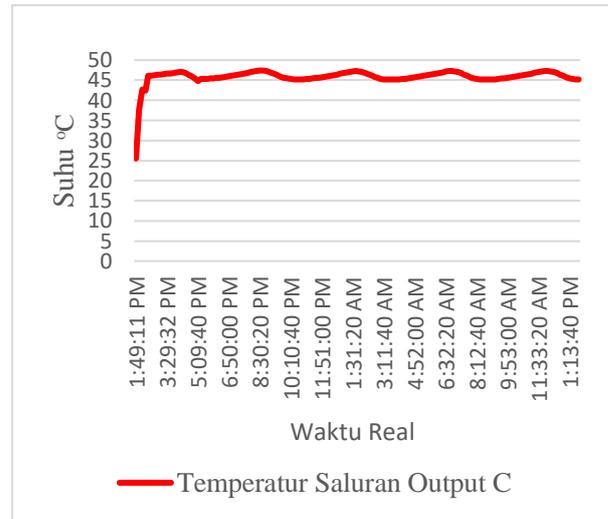
Pada penelitian yang dilakukan oleh peneliti, terdapat dua fokus utama yang jadi acuan untuk peneliti. Pertama yaitu mencari nilai yang tepat untuk dijadikan nilai dari himpunan fuzzy dan juga jumlah fungsi keanggotaan dari logika fuzzy, kedua adalah mengukur besar kadar air dari kopi dan juga laju pengeringan kopi, setelah nilai himpunan fuzzy dan keanggotaan fuzzy yang tepat berhasil didapatkan. Sebelum peneliti merancang sistem kendali logika fuzzy, peneliti mencoba mengukur seberapa besar suhu yang ada di dalam ruang pengering. Nilai suhu ini akan menjadi gambaran seberapa besar suhu yang akan diatur oleh kontrol logika fuzzy, pengujian dilakukan selama 11jam 20 menit, hasil pengujian nilai suhu di dalam ruang pengering terdapat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Suhu Ruang Pengering

Terlihat pada **Gambar 6** data suhu yang dibaca oleh sensor DHT11 masih terdapat gangguan yang cukup signifikan, dimana saat suhu berada di titik tertinggi di 50 °C tiba-tiba bisa turun dan berubah menjadi 43 °C. Karena terdapat lonjakan suhu yang besar tersebut, maka dilakukan pengujian pengukuran suhu kembali, tetapi data dihaluskan terlebih dahulu, sehingga diharapkan mampu mengurangi efek gangguan yang didapatkan pada

saat proses pengambilan data, data hasil pengujian suhu ruang pengering setelah proses penghalusan data terdapat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Data Suhu Setelah Penghalusan

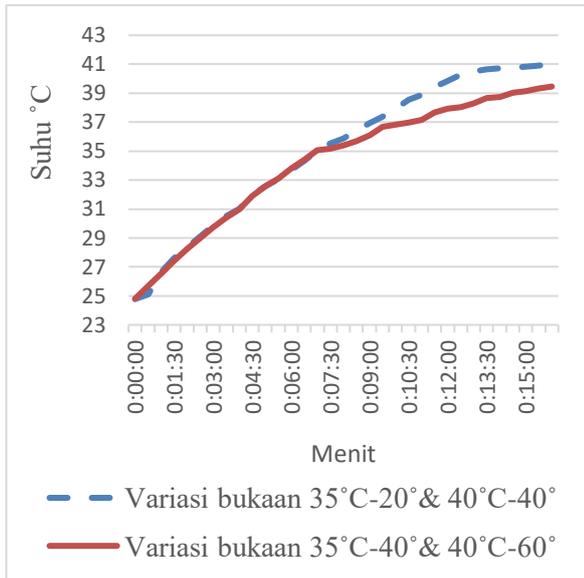
Pada **Gambar 7** data setelah mengalami proses penghalusan menjadi lebih stabil, dan tidak ada lonjakan kenaikan dan penurunan suhu yang signifikan. Karena data suhu yang dibaca sensor sudah menjadi lebih stabil, maka data tersebut dapat digunakan untuk melakukan pengujian selanjutnya.

#### A. Pengujian Kenaikan Suhu

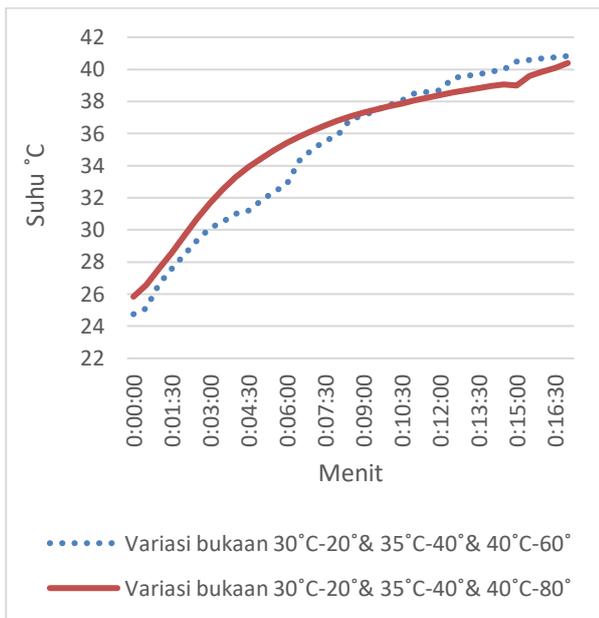
Pengujian kenaikan suhu ini dilakukan guna mengetahui waktu tercepat untuk mencapai suhu 40 °C dari beberapa variasi bukaan katup dan juga titik jenuh dari kenaikan suhu pada masing-masing variasi bukaan katup, data hasil pengujian akan dijadikan himpunan fuzzy yang tepat. Pengujian ini dilakukan dengan suhu awal pengering sebesar 24 °C sampai 25 °C, dan suhu di luar pengering adalah 26 °C sampai 27 °C. Pengujian pertama adalah pengujian kenaikan suhu dengan 2 variasi bukaan katup seperti terdapat dengan hasil pengujian terlihat **Gambar 8**.

Dari **Gambar 8** terlihat bahwa pada bukaan katup 35°C - 20° katup & 40°C - 20° katup dengan garis grafik diarsir adalah yang tercepat mencapai suhu 40 °C dengan waktu 12 menit. Dibandingkan dengan variasi bukaan 35 °C - 40° katup & 40 °C - 60° katup yang tidak dapat mencapai suhu 40 °C setelah 17 menit pengujian. Setelah mendapatkan hasil pengujian suhu dengan 2 variasi bukaan katup, selanjutnya peneliti mencoba melakukan pengujian kenaikan suhu dengan 3 variasi bukaan katup pengujian dengan jumlah variasi katup yang berbeda dilakukan untuk melihat besar perbedaan antara jumlah variasi yang akan berpengaruh pada

jumlah anggota fuzzy, hasil pengujian kenaikan suhu dengan 3 variasi bukaan katup terdapat pada **Gambar 9**.

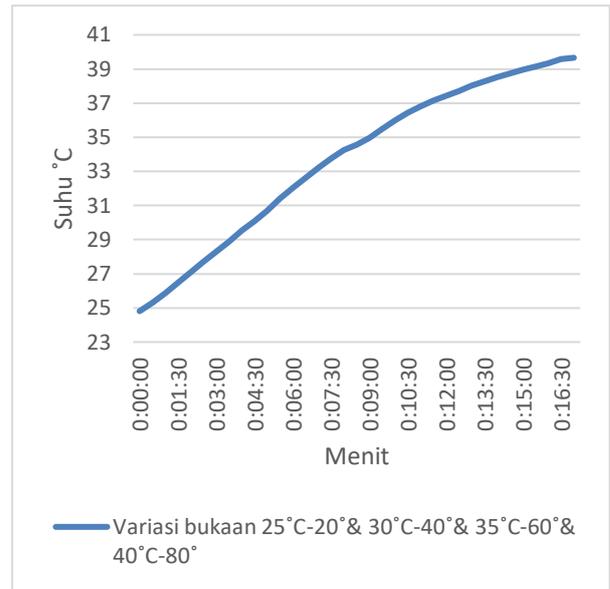


**Gambar 8.** Kenaikan Suhu 2 Variasi Bukaan Katup



**Gambar 9.** Kenaikan Suhu 3 Variasi Bukaan Katup

Dilihat dari hasil pengujian yang terdapat pada **Gambar 9** variasi bukaan katup tercepat mencapai suhu 40°C adalah variasi bukaan katup 30°C – 20°katup & 35°C – 40°katup & 40°C - 60°katup dengan waktu mencapai suhu sebesar 15 menit. Dibandingkan dengan variasi bukaan 30°C – 20°katup & 35°C – 40°katup & 40°C -80° yang memiliki waktu lebih lama untuk mencapai 40 °C yaitu 17 menit.



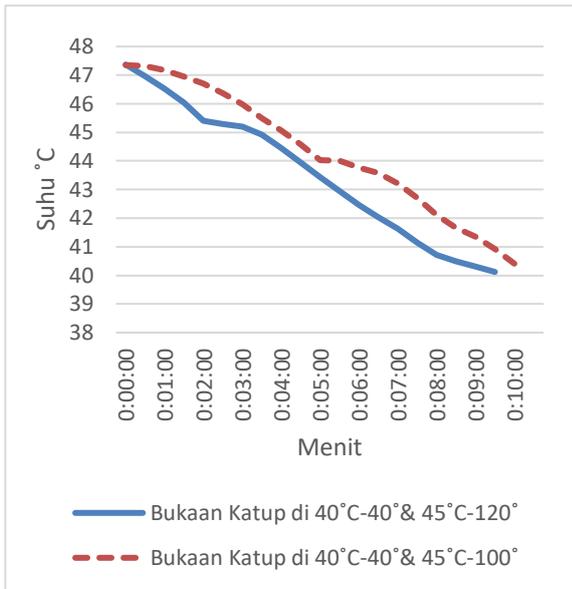
**Gambar 10.** Kenaikan Suhu 4 Variasi Bukaan Katup

Pada **Gambar 10** terlihat pada 4 variasi bukaan katup, setelah 17 menit pengambilan data, suhu pengering tidak mencapai suhu 40 °C. Kondisi ini disebabkan karena katup sudah terbuka dari mulai penyalakan pengering, sehingga suhu udara dari luar bisa masuk ke pengering dari awal.

Setelah melakukan pengujian kenaikan suhu dengan beberapa variasi bukaan katup, dapat disimpulkan bahwa variasi bukaan katup 35 °C-20° katup & 40° C – 40° katup, merupakan variasi bukaan katup tercepat mencapai suhu 40 °C dengan waktu 12 menit. Dibandingkan dengan variasi dan jumlah bukaan katup yang lain, jadi dapat disimpulkan, pada proses kenaikan suhu ruang pengering. Semakin sedikit variasi bukaan katup yang digunakan dan juga semakin kecil katup yang terbuka, semakin cepat juga waktu untuk pengering dapat mencapai suhu 40 °C.

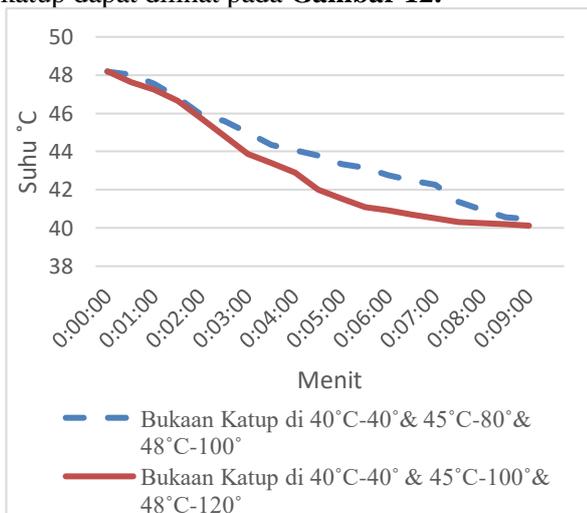
**B. Pengujian Penurunan Suhu**

Pengujian penurunan suhu untuk mencapai suhu 40 °C dilakukan untuk mengetahui jenis dan jumlah variasi tercepat untuk mencapai suhu 40°C, yang dimana nilai tersebut akan digunakan sebagai nilai himpunan masukan fuzzy. Pengujian ini dilakukan dengan suhu di luar pengering sebesar 26 °C – 27 °C. Pengujian pertama adalah pengujian dengan 2 variasi bukaan katup yang ditunjukkan pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Penurunan Suhu 2 Variasi Bukaan Katup

Pengujian penurunan suhu dengan 2 variasi bukaan katup yang terdapat pada Gambar 11 dilakukan sebanyak dua kali, dengan variasi bukaan 40°C-40° katup & 45 °C-120° katup, merupakan yang tercepat mencapai suhu 40°C dengan waktu 9 menit. Dibandingkan dengan variasi bukaan katup 40°C-40° katup & 45 °C-100° yang setelah 10 menit pengujian, tidak dapat menurunkan suhu mencapai suhu 40 °C. Untuk pengujian selanjutnya dapat adalah pengujian kenaikan suhu dengan 3 variasi bukaan katup, pengujian ini dilakukan sebagai pembandingan antara pengaruh jumlah bukaan katup terhadap waktu penurunan suhu. Pada saat pengeringan, suhu di luar pengering adalah 26 °C- 27°C, data dari hasil pengujian penurunan suhu dengan 3 variasi bukaan katup dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Penurunan Suhu 3 Variasi Bukaan Katup

Pada Gambar 12 terlihat variasi bukaan 40°C - 40° katup & 45 °C-100° katup & 48 °C-120° katup

merupakan yang tercepat untuk menurunkan suhu sehingga mencapai 40 °C dengan waktu 6 menit. Dibandingkan dengan variasi bukaan 40 °C-40° katup & 45 °C-100° katup & 48 °C-100° katup yang tidak dapat menurunkan suhu di ruang pengering sehingga mencapai 40 °C setelah 9 menit pengujian.

Untuk lebih jelas melihat hasil pengujian kenaikan dan penurunan suhu mencapai 40 °C, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses penjabaran nilai dari masing-masing bukaan katup, baik itu pada proses kenaikan suhu, dan juga proses penurunan suhu untuk mencapai 40 °C. Penjabaran ini berfungsi untuk melihat nilai bukaan yang tepat untuk dijadikan nilai himpunan fuzzy. Hasil penjabaran dari proses kenaikan suhu dan penurunan suhu mencapai 40 °C terdapat pada Tabel II.

Tabel II. Penjabaran Kenaikan dan Penurunan Suhu

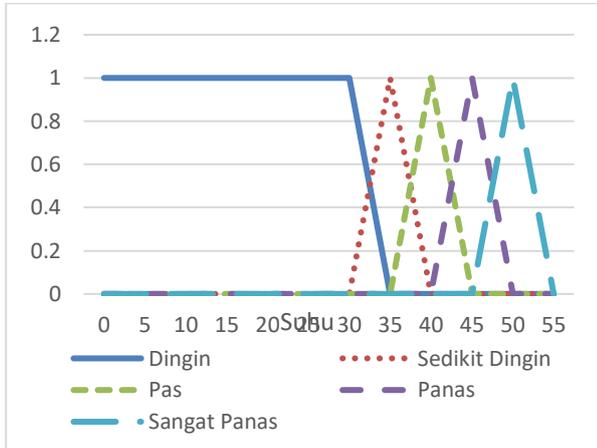
Pengujian Kenaikan Suhu		
Jumlah Bukaan	Variasi Bukaan	Waktu mencapai 40 °C
2	35°C- 20° & 40°C – 40°	12 menit
3	30°C-20° & 35°C-40° & 40°C-60°	15 menit
4	25°C-20° & 30°C-40° & 35°C-60° & 40°C-80°	17 menit
Pengujian Penurunan Suhu		
Jumlah Bukaan	Variasi Bukaan	Waktu mencapai 40 °C
2	40°C-40° & 45°C-120°	9 menit
3	40°C-40° & 45°C-100° & 48°C-120°	6 menit

Dilihat dari Tabel II menunjukkan bahwa pada pengujian kenaikan suhu, jumlah variasi tercepat untuk mencapai mencapai 40 °C adalah 2 variasi bukaan katup 35°C - 20° katup & 40°C - 20° katup dengan waktu untuk mencapai 40 °C adalah 12 menit. Sedangkan pada pengujian penurunan suhu, jumlah bukaan tercepat untuk menurunkan suhu menuju 40 °C adalah 3 variasi bukaan katup yaitu 40°C-40° katup & 45°C-100° katup & 48°C-100° katup, dengan waktu 6 menit.

**C. Pengujian Jumlah Anggota Fuzzy Yang Tepat**

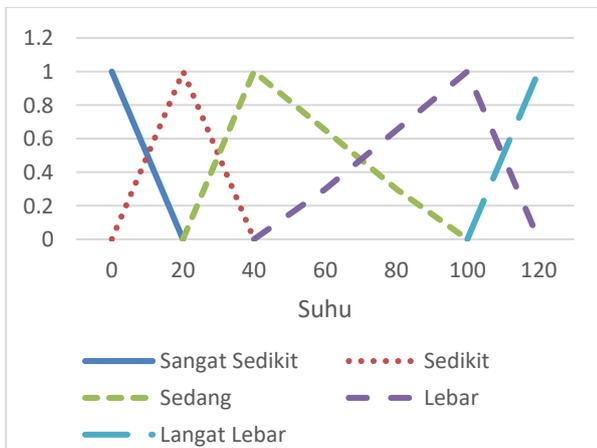
Nilai bukaan katup yang tepat yaitu 35°C - 20° katup & 40°C - 20° katup pada proses pengujian kenaikan suhu, dan 40°C-40° katup & 45°C-100° katup & 48°C-100° katup pada proses penurunan

suhu telah berhasil didapatkan. Maka langkah selanjutnya adalah menerapkan nilai-nilai tersebut menjadi nilai dari himpunan fuzzy, untuk mengetahui memperjelas nilai-nilai dari himpunan fuzzy, maka dibuatlah sebuah kurva *input* yang terdapat pada **Gambar 13**.



**Gambar 13.** Grafik Himpunan Fuzzy *Input*

Setelah kurva himpunan fuzzy *input* dibuat, maka selanjutnya bisa dibuat sebuah fungsi keanggotaan fuzzy *output*, untuk memetakan nilai himpunan fuzzy. Grafik dari kurva *output* pada himpunan fuzzy terdapat pada **Gambar 14**.



**Gambar 14.** Grafik Himpunan Fuzzy *Output*

Setelah kurva dari nilai himpunan fuzzy *input* dan himpunan fuzzy *output* telah dibuat, maka pemetaan antar fungsi keanggotaan sudah bisa dibuat. Berdasarkan kurva himpunan fuzzy *input* dengan nilai *input* yang didapat dari masukan suhu yang telah dibaca oleh sensor DHT 11 yang telah mengalami proses penghalusan data dengan metode EWMA dan juga himpunan fuzzy *output* yang berfungsi untuk mengatur nilai bukaan katup, maka nilai keanggotaan fuzzy dapat dilihat pada **Gambar 15**.

```
FuzzyInput *suhu = new FuzzyInput(1);
FuzzySet *dingin = new FuzzySet(0, 0, 0, 35);
suhu->addFuzzySet(dingin);
FuzzySet *sedikitdingin = new FuzzySet(30, 35, 35, 40);
suhu->addFuzzySet(sedikitdingin);
FuzzySet *pas = new FuzzySet(35, 40, 40, 45);
suhu->addFuzzySet(pas);
FuzzySet *panas = new FuzzySet(40, 45, 45, 48);
suhu->addFuzzySet(panas);
FuzzySet *sangatpanas = new FuzzySet(45, 48, 48, 55);
suhu->addFuzzySet(sangatpanas);

fuzzy->addFuzzyInput(suhu);

FuzzyOutput *katup = new FuzzyOutput(1);
FuzzySet *sangatseikit = new FuzzySet(0, 0, 0, 20);
katup->addFuzzySet(sangatseikit);
FuzzySet *sedikit = new FuzzySet(0, 20, 20, 40);
katup->addFuzzySet(sedikit);
FuzzySet *sedang = new FuzzySet(20, 40, 40, 100);
katup->addFuzzySet(sedang);
FuzzySet *lebar = new FuzzySet(40, 100, 100, 120);
katup->addFuzzySet(lebar);
FuzzySet *sangatlebar = new FuzzySet(100, 120, 120, 125);
katup->addFuzzySet(sangatlebar);

fuzzy->addFuzzyOutput(katup);
```

**Gambar 15.** Himpunan Fuzzy *Input* dan *Output*

Setelah himpunan fuzzy telah dibuat, maka langkah selanjutnya adalah menetapkan aturan fuzzy yang berupa aturan *If-Then*. Metode *If-Then* ini adalah sebuah metode yang berfungsi untuk memetakan ruang masukan himpunan fuzzy kedalam ruang keluaran himpunan fuzzy, sehingga nilai *output* dari fuzzy bisa didapatkan, dan berikut adalah baris program dari aturan fuzzy yang digunakan pada penelitian ini:

```
FuzzyRuleAntecedent *ifsuhudingin = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifsuhudingin->joinSingle(dingin);
FuzzyRuleConsequent *thenkatupsangatsedikit =
new FuzzyRuleConsequent();
thenkatupsangatsedikit-
>addOutput(sangatsedikit);
FuzzyRule *fuzzyRule01 = new FuzzyRule(1,
ifsuhudingin, thenkatupsangatsedikit);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule01);
FuzzyRuleAntecedent *ifsuhusedikitdingin = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifsuhusedikitdingin->joinSingle(sedikitdingin);
FuzzyRuleConsequent *thenkatupsedikit = new
FuzzyRuleConsequent();
thenkatupsedikit->addOutput(sedikit);
FuzzyRule *fuzzyRule02 = new FuzzyRule(1,
ifsuhusedikitdingin, thenkatupsedikit);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule02);
FuzzyRuleAntecedent *ifsuhupas = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifsuhupas->joinSingle(pas);
FuzzyRuleConsequent *thenkatupsedang = new
FuzzyRuleConsequent();
```

```

thenkatupsedang->addOutput(sedang);
FuzzyRule *fuzzyRule03 = new FuzzyRule(1,
ifsuhupanas, thenkatupsedang);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule03);
FuzzyRuleAntecedent *ifsuhupanas = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifsuhupanas->joinSingle(panas);
FuzzyRuleConsequent *thenkatuplebar = new
FuzzyRuleConsequent();
thenkatuplebar->addOutput(lebar);
FuzzyRule *fuzzyRule04 = new FuzzyRule(1,
ifsuhupanas, thenkatuplebar);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule04);
FuzzyRuleAntecedent *ifsuhusangatpanas = new
FuzzyRuleAntecedent();
ifsuhusangatpanas->joinSingle(sangatpanas);
FuzzyRuleConsequent *thenkatupsangatlebar =
new FuzzyRuleConsequent();
thenkatupsangatlebar->addOutput(sangatlebar);
FuzzyRule *fuzzyRule05 = new FuzzyRule(1,
ifsuhusangatpanas, thenkatupsangatlebar);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule05);
    
```

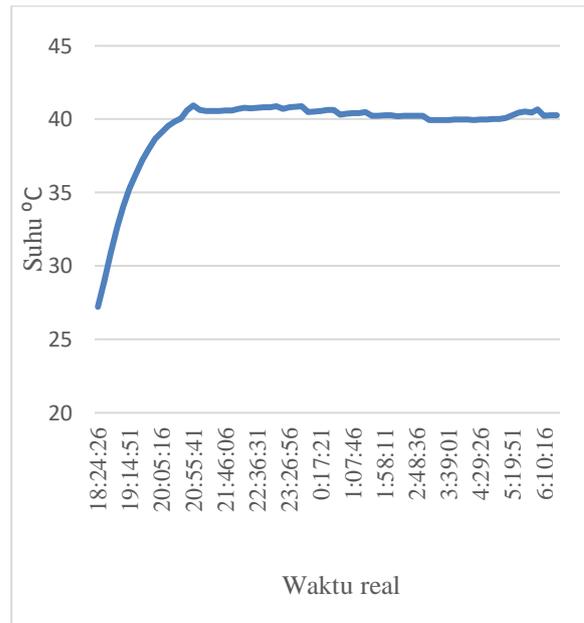
Karena setiap himpunan fuzzy memiliki 5 fungsi keanggotaan, maka tentu aturan fuzzy sendiri memiliki 5 anggota aturan fuzzy. Untuk lebih memudahkan memahami aturan fuzzy, dapat dilihat dari **Tabel III**.

**Tabel III.** Aturan Fuzzy

Masukan °C	Keluaran ° Katup
Dingin	Sangat Sedikit
Sedikit Dingin	Sedikit
Pas	Sedang
Panas	Lebar
Sangat Panas	Langat Lebar

Kondisi sebab akibat pada metode *If-Then* terjadi setelah melihat nilai *input* terlebih dahulu. Penjelasan dari **Tabel III** adalah jika suhu yang dibaca oleh sensor masuk ke kategori dingin, maka nilai *output* fuzzy yang akan diproses servo menjadi sangat sedikit terbuka, jika suhu termasuk ke kategori sedikit dingin, maka katup yang terbuka akan sedikit, jika suhu yang dibaca pas, maka katup akan terbuka sedang, jika suhu yang dibaca masuk ke kategori panas maka katup akan terbuka lebar, jika suhu yang dibaca masuk ke kategori sangat panas, maka suhu katup akan terbuka sangat lebar.

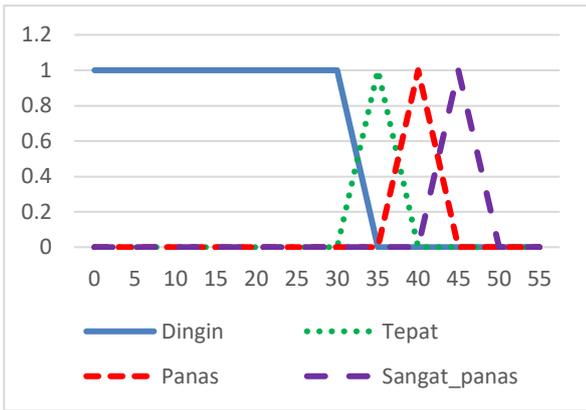
Himpunan fuzzy telah didapatkan, dan juga aturan fuzzy telah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pengeringan suhu dengan kontrol fuzzy yang telah diprogram peneliti. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kestabilan suhu pada ruang pengering yang dikendalikan oleh logika fuzzy. Pengujian ini dilakukan selama 12 jam dan juga gabah yang dikeringkan sebanyak 1,5 Kg. Hasil grafik pengeringan suhu dapat dilihat pada **Gambar 16**.



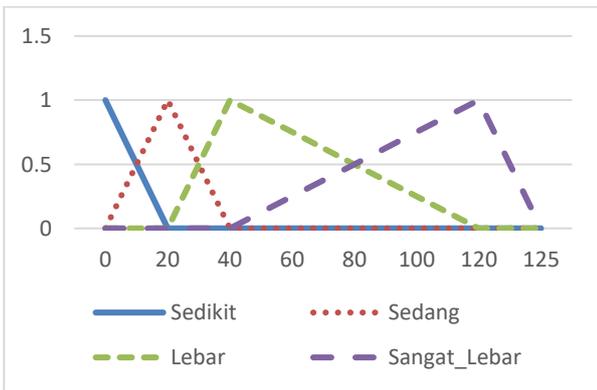
**Gambar 16.** Pengujian Kestabilan Suhu di Ruang Pengering

Hasil pengukuran nilai suhu ruang pengering pada **Gambar 16** dibandingkan dengan nilai suhu yang terdapat pada **Gambar 7**, maka dapat dilihat sebuah perbedaan dari nilai suhu, dimana pada **Gambar 7**, suhu diruang pengering rata-rata mencapai 46 °C. Sedangkan pada **Gambar 16**, terlihat bahwa suhu stabil di angka 40 °C dengan titik maksimal suhu diruang pengering adalah 40,65°C.

Sebagai perbandingan, peneliti mencoba menggunakan jumlah keanggotaan fuzzy yang berbeda, untuk melihat besar pengaruh dari jumlah anggota fuzzy pada proses penstabilan suhu. Peneliti menggunakan 4 anggota logika fuzzy dengan nilai himpunan fuzzy yang berbeda dengan grafik himpunan fuzzy *input* yang terdapat pada **Gambar 17** dan grafik himpunan fuzzy *output* yang terdapat pada **Gambar 18**.

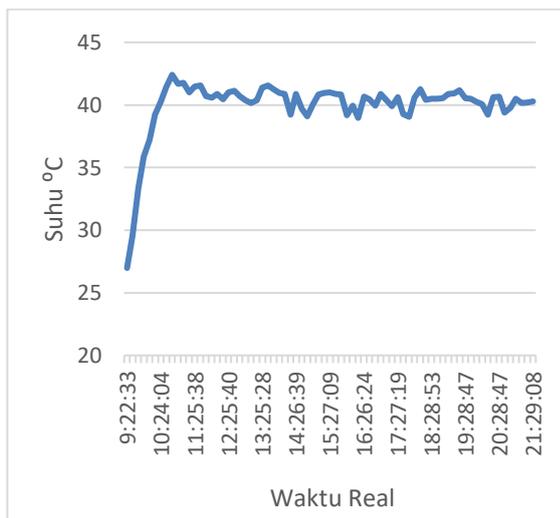


Gambar 17. Himpunan Fuzzy Input 4 Anggota Fuzzy



Gambar 18. Himpunan Fuzzy Output 4 Anggota Fuzzy

Pengujian dilakukan selama 12 jam, sama dengan pengujian 5 anggota fuzzy. Hasil pengujian penstabilan suhu pada ruang pengering dengan 4 anggota fuzzy dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Pengujian Kestabilan Suhu 4 Anggota Fuzzy

Dilihat dari suhu pada ruang pengering menggunakan 4 anggota fuzzy, suhu menjadi tidak stabil pada suhu 40°C. Dengan 4 buah anggota fuzzy suhu pada ruang pengering bisa mencapai 41,69 °C, dan titik terendah adalah 38,98 °C. Karena hasil tersebut, maka dapat disimpulkan

bahwa logika fuzzy dengan 5 fungsi keanggotaan adalah jumlah fungsi yang paling tepat untuk menstabilkan suhu pada ruang pengering. Dengan fungsi keanggotaan yang telah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengujian pengeringan kopi, massa kopi sebelum dikeringkan sebesar 1451 gram yang dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Massa Gabah Sebelum Dikeringkan

Setelah pengeringan gabah kopi dilakukan selama 12 jam dan gabah diaduk secara kontinyu. Penggunaan sistem kendali logika fuzzy yang telah didapatkan dari hasil pengujian bukaan katup setelah diaplikasikan pada proses pengujian, maka didapatkan massa gabah seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Massa Gabah Setelah Dikeringkan

Dilihat dari Gambar 21 bahwa massa gabah kopi yang dikeringkan adalah 1251 gram dibandingkan dengan massa gabah kopi yang terlihat pada Gambar 20 yang sebesar 1451. Dengan perbandingan tersebut, maka dapat dihitung kadar air gabah yang terdapat pada Persamaan 1 dan laju pengeringan terdapat pada Persamaan 2.

$$M_w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100\% = \tag{1}$$

$$M_w = \frac{1451 - 1251}{1451} \times 100\% =$$

$$M_w = 13.7\% \text{ Kadar air gabah}$$

$$\begin{aligned}
 W_{dot} &= \frac{KA_u}{\Delta T} = \\
 W_{dot} &= \frac{M_w}{\Delta T} = \\
 W_{dot} &= \frac{13.7\%}{12} = \\
 W_{dot} &= 1,14\%/jam
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Dampak dari penelitian ini setelah melakukan pengujian pencarian nilai himpunan fuzzy dan jumlah anggota fuzzy yang tepat, alat pengering gabah dapat menjaga kestabilan suhu disekitar 40 °C. Dengan suhu yang stabil tersebut, alat ini dapat menghasilkan kadar air gabah setelah proses pengeringan sebesar 13,7 %.

Setelah melakukan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, peneliti menemukan keselarasan antara penelitian yang dilakukan oleh peneliti, dan penelitian yang dilakukan oleh A. Ramadhani [7]. Keselaran tersebut terdapat pada bagian jumlah anggota fuzzy yang didapatkan yaitu sama-sama 5 anggota fuzzy. Tetapi perbeaan dari penelitian yang dilakukan oleh A. Ramadhani tersebut adalah jenis pengeringan yang digunakan, jumlah komponen yang digunakan, dan juga nilai himpunan fuzzy yang digunakan.

#### IV. KESIMPULAN

Variasi bukaan katup tercepat mencapai 40 °C adalah 35° C- 20° & 40° C – 40° dengan waktu 12 menit. Variasi bukaan katup tercepat untuk menurunkan suhu mencapai suhu 40 °C adalah 40°C-40° & 45°C-100° & 48°C-120° dengan waktu 6 menit. Dengan 5 anggota fuzzy yang digunakan pada sistem logika fuzzy, alat ini mampu menstabilkan suhu pada kisaran 40 °C dan dibuktikan pada **Gambar 16**. Kadar air yang didapatkan setelah proses pengeringan gabah adalah 13,7% kadar air. Saran pada penelitian ini adalah menggunakan penambahan sistem pemanas

suhu yaitu sistem kolektor surya, sistem ini berfungsi untuk mengurangi pemborosan energi saat menggunakan alat pemanas listrik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Larasati, G. Kalandro, I. Fibriani, W. Hadi, D. Herdiyanto, and C. Sarwono, "Optimization of Coffee Bean Drying Using Hybrid Solar Systems and Wi-Fi Data Communication," Oct. 2018, pp. 29–32. doi: 10.1109/ICECOS.2018.8605196.
- [2] M. Javier Muñoz-Neira, M. Fernando Roa-Ardila, and C. Rodrigo Correa-Celi, "Comparative analysis of drying coffee beans using microwave and conventional oven," Jun. 2020.
- [3] S. Atthajariyakul and T. Leephakpreeda, "Fluidized bed paddy drying in optimal conditions via adaptive fuzzy logic control," *Journal of Food Engineering*, vol. 75, no. 1, pp. 104–114, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.055.
- [4] P. Ghosh and N. Venkatachalapathy, "Processing and Drying of Coffee – A Review," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 3, Dec. 2014.
- [5] D. Derisma, A. Putra, and D. Yendri, "Designing An Automatic Microcontroller-based Drying Machine of Coffee Beans," *IPTEK The Journal for Technology and Science*, vol. 31, no. 1, Art. no. 1, Nov. 2019, doi: 10.12962/j20882033.v31i1.5375.
- [6] M. A. Delele, F. Weigler, and J. Mellmann, "Advances in the Application of a Rotary Dryer for Drying of Agricultural Products: A Review," *Drying Technology*, vol. 33, no. 5, pp. 541–558, Apr. 2015, doi: 10.1080/07373937.2014.958498.
- [7] A. Ramadhani, "Pengering Biji Kopi Dengan Kontrol Suhu Berbasis Logika Fuzzy," other, Universitas Komputer Indonesia, 2020. doi: 10/UNIKOM\_ARI%20RAMADHANI\_BAB%20III.pdf.
- [8] P. Singhala, D. Shah, dan B. Patel. "Temperature control using fuzzy logic." arXiv preprint arXiv:1402.3654, 2014.
- [9] N. Abbas. Homogeneously weighted moving average control chart with an application in substrate manufacturing process. *Computers & Industrial Engineering*, 120, hal.460-470, 2018.
- [10] O. V. Bereziuk, M. S. Lemeshev, V. V. Bogachuk, and M. Duk, "Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3," in *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, Oct. 2018, vol. 10808, pp. 1055–1062. doi: 10.1117/12.2501557.
- [11] D. Limantara, V. F. Nisa, E. Gardjito, B. Subiyanto, F. Nursandah, H. L. Sudarmanto, dan Mudjanarko, S. W. Modeling of Automatic Door at Railroad Crossing Without Guard Based on Internet of Things in Indonesia. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(9), hal 140-148, 2020.