



Analisa Perbandingan Pengaturan Suhu Berbasis Logika Fuzzy Interferensi Sugeno dan Mamdani pada Alat Pengering Biji Kopi

Comparative Analysis of Sugeno and Mamdani Interference Based Fuzzy Logic Temperature Control in Coffee Bean Dryers

Nihayatun Nafisah¹, Ika Noer Syamsiana^{*1}, Wijaya Kusuma¹, Ratna Ika Putri¹,
Arwin Datumaya Wahyudi Sumari²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

²Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto, Yogyakarta, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: ikanoersyamsiana@polinema.ac.id

Abstrak. Kopi merupakan komoditas unggulan dengan permintaan global yang terus meningkat. Indonesia merupakan satu dari beberapa negara produsen kopi terbesar di dunia setelah India dan Brazil. Salah satu upaya menjaga kualitas biji kopi hijau agar sesuai dengan SNI 01-2907-2008 adalah menjaga nilai kadar air. Konsistensi nilai kadar air, membutuhkan perlakuan khusus dalam metode pasca panen yaitu pada proses pengeringan biji kopi. Mengeringkan biji kopi menggunakan metode tradisional menggunakan sinar matahari langsung memiliki banyak kelemahan yaitu waktu yang cukup lama, kontaminasi jamur dan bakteri serta suhu pengeringan yang tidak bisa diatur. Diperlukan alat untuk mengeringkan biji kopi dengan fitur khusus dalam mengontrol suhu optimal sebesar 50°C untuk menyelesaikan kekurangan dari metode tradisional. Dalam pengaturan suhu agar sesuai dengan setpoint dibutuhkan metode kontrol yang tepat sehingga tujuan penelitian ini untuk membandingkan 2 metode kontrol pengaturan suhu menggunakan fuzzy logic control interferensi Mamdani dan Sugeno. Kedua metode kontrol tersebut memiliki 2 input yaitu error dan delta error serta 1 output yaitu persentase valve. Pengambilan data pada alat pengering menunjukkan bahwa logika control yang sesuai adalah menggunakan metode interferensi Mamdani dengan error maksimal sebesar 2,1% dibandingkan metode interferensi Sugeno dengan error maksimal 10%. Nilai kadar air yang dihasilkan dari pengeringan biji kopi menggunakan fuzzy logic control interferensi Mamdani yaitu sebesar 12,5% dengan massa biji kopi yang dikeringkan adalah 1000-gram dan waktu pengeringan 90 menit.

Kata kunci: pengering, kopi robusta, kadar air, suhu, SNI

Abstract. Coffee is a leading commodity with growing global demand. Indonesia is one of the largest coffee-producing countries in the world after India and Brazil. One of the efforts to maintain the quality of green coffee beans by SNI 01-2907-2008 is to maintain the value of moisture content. The consistency of moisture content values requires special treatment in the post-harvest method, namely in the drying process of coffee beans. Drying coffee beans using traditional methods using direct sunlight has many disadvantages, namely a long time, fungal and bacterial contamination, and unregulated drying temperatures. Therefore, a device is needed to dry coffee beans with a special feature in controlling the optimum temperature of 50°C to solve the shortcomings of traditional methods. In setting the temperature to match the setpoint, an appropriate control method is needed so that the purpose of this study is to compare 2 temperature control methods using fuzzy logic control interference Mamdani and Sugeno. Both control

methods have 2 inputs, namely error and delta error, and 1 output, namely the percentage of valve. Data collection on the dryer shows that the appropriate control logic is to use the Mamdani interference method with a maximum error of 2.1% compared to the Sugeno interference method with a maximum error of 10%. The moisture content value resulting from drying coffee beans using Mamdani's fuzzy logic control interference is 12.5% with the mass of dried coffee beans is 1000-grams and a drying time of 90 minutes.

Keywords: dryer, robusta coffee, moisture content, temperature, SNI

1. Pendahuluan

Permintaan biji kopi dunia pada tahun 2021 meningkat sebesar 3% berdasarkan data dari *International Coffee Organization* (ICO) (Price, 2022; Kath *et al.*, 2021; ICO, 2019; Manalu *et al.*, 2020). Indonesia menduduki peringkat ketiga dunia dalam memasok biji kopi setelah India dan Brazil (Harada *et al.*, 2022). Sesuai dengan resolusi ICO 407 tentang perniagaan kopi dengan mutu rendah dilarang sejak tanggal 1 Oktober 2002 (ICC-102-9, 2011). Salah satu indikator kualitas biji kopi yang baik adalah biji kopi dengan kadar air kurang dari sama dengan 12,5% serta memiliki bau biji kopi yang baik dalam arti tidak berbau apek (BSN [Badan Standardisasi Nasional], 2008).

Berdasarkan standart SNI 01-2907-2008, maka setelah biji kopi dipanen perlu dilakukan pengolahan pasca panen. Metode pengolahan pascapanen berpengaruh terhadap kualitas biji kopi (Hall *et al.*, 2022; Alixandre *et al.*, 2023). Salah satu metode pasca panen adalah pengeringan (Analianasari *et al.*, 2021). Terdapat dua metode pengeringan biji kopi yaitu pengeringan secara tradisional dan metode mekanis (Simbolon, 2021). Namun metode tradisional memiliki beberapa kelemahan, diantaranya yaitu membutuhkan waktu pengeringan yang cukup lama, ketergantungan pada cuaca, serta semakin besar kemungkinan biji kopi terkontaminasi jamur dan bakteri (Pangururan *et al.*, 2022; Lilia *et al.*, 2021; Hale *et al.*, 2022).

Proses pengeringan biji kopi merah menggunakan metode penjemuran tradisional dibawah sinar matahari secara langsung membutuhkan waktu kurang lebih 5 sampai 7 hari hingga mencapai kadar air dengan rentang 45-50% menjadi 18-20% (Umaran *et al.*, 2022). Langkah selanjutnya yaitu pengupasan kulit tanduk biji kopi kemudian dikeringkan kembali selama 2 hari untuk menghasilkan kadar air sebesar 11-12,5% (Alhabsy *et al.*, 2021). Mempertimbangkan beberapa kekurangan pengeringan biji kopi secara tradisional, maka perlu dilakukan upaya dalam mengatasi permasalahan tersebut dengan menggunakan mesin pengering sebagai metode pengeringan biji kopi (Ramadhani *et al.*, 2020). Pengeringan biji kopi secara mekanis dengan udara yang dipanaskan hingga 50°C menghasilkan kopi lebih unggul daripada pengeringan menggunakan sinar matahari langsung dengan karakter kimia dan fisis kopi yang lebih terjaga (Largo-Avila *et al.*, 2023; de Oliveira *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2019). Selain itu, pengeringan mekanis menggunakan alat memiliki kandungan konsentrasi sukrosa lebih tinggi dan asam lemak lebih

rendah dibandingkan pengeringan langsung menggunakan sinar matahari sehingga lebih sehat dibandingkan pengeringan tradisional (Largo-Avila *et al.*, 2023).

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan metode pengeringan biji kopi, beberapa penelitian sebelumnya telah memusatkan perhatian pada aspek suhu. Salah satunya membahas mengenai efektifitas pengeringan biji kopi terkontrol menggunakan oven pengering terkontrol. Namun, pengeringan menggunakan oven ini masih memiliki kekurangan yaitu kekeringan biji kopi tidak merata meskipun suhu sudah diatur dengan set point tertentu (Silaban *et al.*, 2020). Penelitian selanjutnya merupakan pengeringan biji kopi dengan metode *vertical mixed flow*. Namun pada penelitian tersebut, belum ada sistem kontrol yang mengontrol suhu dan waktu. Tidak dijelaskan secara detail kontrol apa yang digunakan sehingga cenderung bersifat semi manual (Sutrisno *et al.*, 2020).

Melihat pada penelitian yang ada, perlu dibuat dirancang kontrol suhu yang sesuai untuk alat pengering biji kopi dengan fitur kontrol suhu secara stabil sehingga dapat menghasilkan biji kopi dengan kadar air sesuai standar. Tujuan penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan dan membandingkan kontrol suhu berbasis logika *fuzzy* diantara inferensi Sugeno dan Mamdani yang paling optimal pada alat pengering biji kopi. Meskipun telah banyak penelitian tentang metode untuk mengontrol suhu yang diaplikasikan pada alat pengering biji kopi dengan menggunakan *fuzzy logic control* (Cahyani *et al.*, 2023; Muradi & Kartika, 2023; Sari, 2023; Wijaya *et al.*, 2021; Suhariningsih & Rakhmawati, 2019; Ullah *et al.*, 2018), namun setiap alat yang digunakan memiliki karakteristik yang berbeda sehingga kontrol suhu yang dirancang menggunakan metode *fuzzy* memiliki *fuzzy inference system (FIS)* telah disesuaikan dengan kapasitas volume rotary drying, jenis kopi dan metode pasca panen.

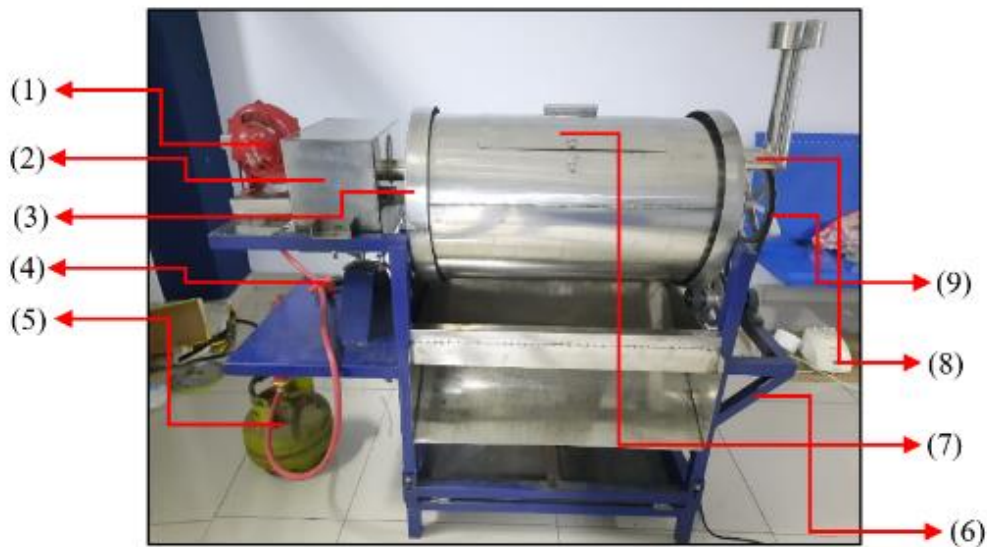
2. Bahan dan Metode

Metode penelitian yang dijalankan dalam penyusunan jurnal ini melibatkan beberapa langkah, dimulai dari kajian literatur, perencanaan perangkat keras, perencanaan perangkat lunak, dan berlanjut pada tahap pembuatan serta implementasi sistem kontrol pada alat dan terakhir adalah analisa perbandingan metode kontrol yang optimal pada alat pengering biji kopi. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kontrol Gedung AK dan Laboratorium Power Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2022 s.d September 2023. Pada proses pengerjaan penelitian ini, yang menjadi objek penelitian yaitu kopi Robusta Gunung Kawi menggunakan alat pengering otomatis dengan pengaturan suhu menggunakan mikrokontroller ESP32.

2.1. Kerangka Mekanik

Alat pengering biji kopi yang akan diimplementasikan sistem kontrol suhu memiliki kapasitas 10 kg terlihat pada [Gambar 1](#), terdapat beberapa bagian dari alat pengering biji kopi *rotary dryer* tersebut diantaranya:

- 1) Blower, berguna sebagai penyebar udara panas yang dihasilkan oleh tungku pembakaran ke seluruh bagian dalam tabung *rotary dryer*.
- 2) Tungku pembakaran, tempat pembakaran.
- 3) Inlet tabung *rotary dryer*, sebagai tempat masuknya udara panas.
- 4) *Motorized valve*, sebagai pengatur suhu dengan mengatur bukaan valve sesuai setpoint.
- 5) Tabung gas, sebagai sumber gas untuk pembakaran.
- 6) Kerangka utama, penopang keseluruhan alat.
- 7) Tabung *rotary dryer*, sebagai tempat biji kopi waktu proses pengeringan.
- 8) Outlet tabung *rotary dryer* (cerobong udara), sebagai sirkulasi udara sekaligus keluaran uap biji kopi waktu proses pengeringan.
- 9) *Pulley*, berfungsi sebagai komponen bantu untuk memutar tabung *rotary dryer* dengan penggerak utama motor induksi 1 fasa daya 90-watt terletak dibagian bawah tabung *rotary dryer*.



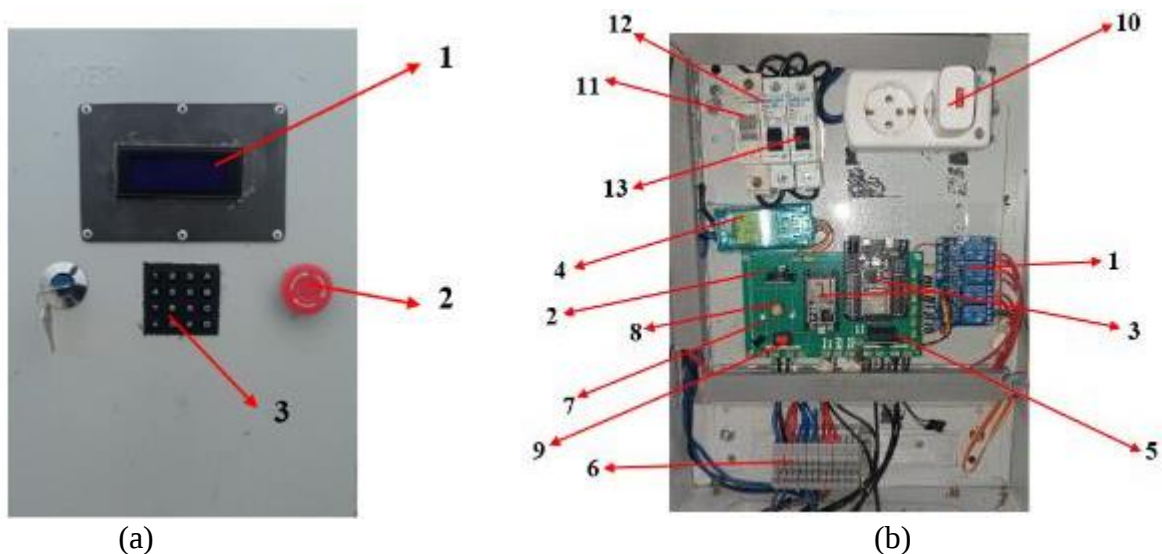
Gambar 1. Alat Pengering Biji Kopi

Alat pengering biji kopi ini memiliki rangka dengan dimensi panjang 167 cm serta lebar 50 cm dan tinggi 123 cm. Ruang pengeringan berupa tabung *rotary dryer* berdiameter 40 cm. Kerangka utama dari alat pengering tersebut terbuat dari besi galvanis setebal 3 mm serta bagian tabung *rotary dryer* dan *combustion chamber* terbuat dari plat *stenlisstell* dengan tebal 2 mm dan 3mm.

2.2. Komponen Kontrol

Pada [Gambar 2](#) (a) merupakan gambar box panel tampak depan yang terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

1. LCD ukuran 16x4 untuk menampilkan suhu, kadar air, waktu, dan pemilihan metode pengeringan.
2. *Emergency switch* sebagai tombol darurat sebagai pemutus secara cepat ketika alat sedang menyala.
3. *Keypad* 4x4 merupakan tombol yang terdiri dari 16 tombol, yaitu angka 1-9, pagar, bintang serta abjad A-D.



(a) Gambar Panel Tampak Depan (b) Bagian Dalam Panel

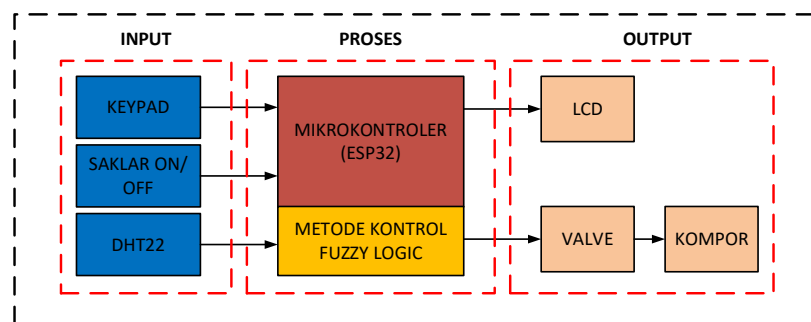
Sedangkan pada [Gambar 2](#)(b) merupakan gambar isi dari panel berupa rangkaian mikrokontroller dan rangkaian elektrik. Adapun rangkaian mikrokontroler tersebut berupa:

1. Relay berfungsi untuk mengendalikan arus listrik dengan bantuan sinyal listrik yang lebih kecil
2. RTC (*Real-Time Clock*) digunakan sebagai pemberi informasi waktu yang akurat secara real-time.
3. ESP32 1 dan 2 sebagai mikrokontroller.
4. PZEM-004t berfungsi sebagai modul sensor yang berfungsi untuk mengukur parameter listrik seperti arus, tegangan, factor daya, daya, dan energi listrik.
5. SC Card Module adalah modul yang berfungsi untuk menyimpan data pada kartu memori (SD card).
6. Terminal konektor yang digunakan untuk menghubungkan kabel atau koneksi lainnya ke suatu perangkat.

7. LED (*Light Emitting Diode*) sebagai indikator wifi, indikator jika kedua ESP32 terhubung.
8. *Push Button* sebagai tombol reset system.
9. *Switch* sebagai saklar penghubung antara kedua mikrokontroller.
10. Adaptor 5-volt sebagai sumber tegangan mikrokontroler.
11. MCB Utama sebesar 4 A.
12. MCB peralatan 2A.
13. MCB mikrokontroller 2A.

2.3. Block Diagram

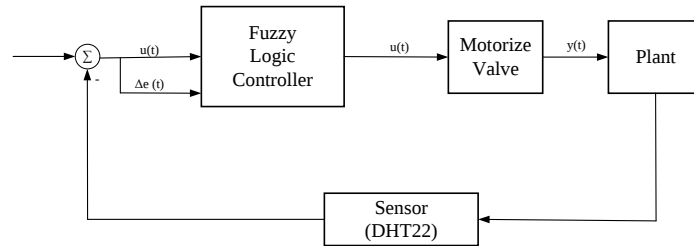
Gambar 3 merupakan gambar blok diagram system, terdiri dari tiga bagian yaitu masukan (*input*), pengendali (*process*), dan keluaran (*output*). Bagian *input* memberikan perintah melalui sinyal tegangan kepada mikrokontroler, sedangkan bagian *process* memproses perintah sesuai program yang ditentukan. Bagian *output* menerima perintah dari *process* dan menjalankannya sesuai desain peralatan. Komponen-komponen yang digunakan dalam proses pengeringan biji kopi ini terdiri dari *keypad* untuk input perintah, saklar on-off untuk mengendalikan operasional, sensor suhu DHT22 untuk membaca suhu di tangki pengeringan, microcontroller ESP32 sebagai sistem kontrol, dan LCD untuk menampilkan parameter biji kopi seperti kadar air dan suhu. Microcontroller ESP32 diprogram dengan bahasa C++ menggunakan software Arduino IDE dan menerima data parameter dari sensor.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Pada proses pengeringan biji kopi dikontrol dengan sistem kontrol menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy*. *Input* yang pertama yang digunakan yaitu *error* yang dihasilkan dari persentase perbedaan diantara nilai *set point* (suhu awal) dan nilai *present value* (suhu target). Nilai posisi tersebut didapatkan dari nilai pembacaan sensor suhu (DHT22). *Input* yang kedua yaitu nilai *delta error* ($error - error$ sebelumnya) yang didapatkan dari pengurangan error real dikurangi error sebelumnya. Output dari proses Kontrol Logika *Fuzzy* berupa nilai PWM (*pulse width modulation*) yang akan mengatur bukaan valve. Nilai dari sensor suhu (DHT22) digunakan sebagai umpan balik untuk menentukan nilai *error* pada setiap iterasi yang telah berjalan. Berikut merupakan

penjelasan dari diagram blok kontrol pada proses pengeringan biji kopi. Blok diagram kontrol dapat dilihat pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Blok Diagram Kontrol

Design *Fuzzy logic Control* sebagai pengontrol aliran panas pada alat pengering biji kopi yang akan penulis buat menggunakan 2 input yaitu *error* dan *delta error* dan 1 output yaitu bukaan valve. Rumus *Error* dan *delta error* (1).

$$Error = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan:

T_0 = Set point suhu (60 °C)

T_1 = Suhu terbaca (°C)

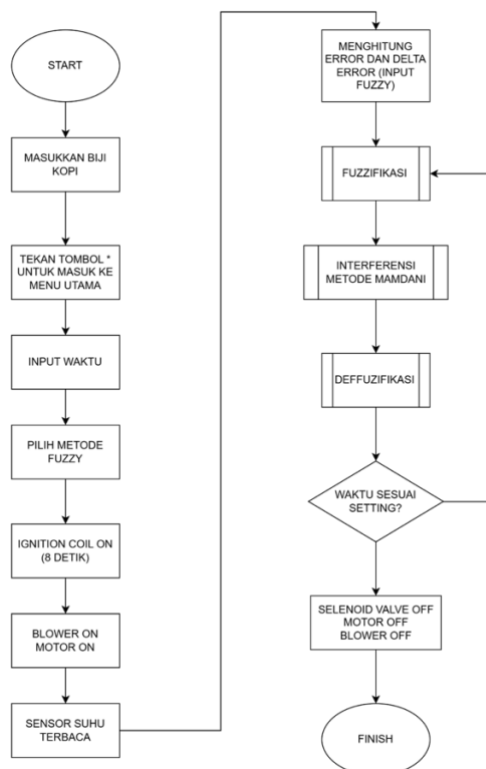
Persamaan (2) merupakan rumus *delta error*.

$$\Delta Error = E_1 - E_0 \quad (2)$$

Dengan:

E_1 = Error terbaca/aktual (%)

E_0 = Error sebelumnya (%)



Gambar 5. Flow Chart Prinsip Kerja Alat

2.4. Sistem Kerja Alat

Alur kerja alat pengering biji kopi terlihat pada [Gambar 5](#), dimulai dengan mengukur kadar air awal menggunakan *moisture meter*. Setelah itu, biji kopi dimasukkan ke dalam tabung pengeringan. Di menu utama, pengguna dapat mengatur waktu dan memilih metode pengeringan yaitu *fuzzy logic control* metode Mamdani (tekan tombol A) atau metode Sugeno (tekan tombol B). Proses pengeringan dimulai dengan valve terbuka 100%, *ignition coil* menyala, lalu setelah delapan detik blower dan motor menyala, dan *ignition coil* mati. Valve secara otomatis mengatur masukan gas untuk menjaga suhu rata-rata dalam tabung pengering $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Setelah waktu yang diatur habis, seluruh sistem mati, dan biji kopi dapat dikeluarkan untuk memeriksa kadar air akhir.

2.5. Fuzzy Logic Interference Mamdani

Metode Max-Min atau biasa dikenal sebagai Metode Mamdani, diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Proses untuk menghasilkan output melibatkan empat tahap yang harus dilalui. ([Rindengan & Yohanes, 2019](#)):

- 1) Pembentukan himpunan *fuzzy*: menetapkan variable *fuzzy* dan mendefinisikan himpunan fuzzinya.
- 2) Aplikasi fungsi implikasi (aturan): penerapan fungsi implikasi berdasarkan aturan yang menggunakan fungsi minimum. Hasil implikasi fuzzy dari setiap aturan tersebut kemudian digabungkan untuk menghasilkan output dari proses inferensi fuzzy.
- 3) Komposisi aturan (interferensi): inferensi diperoleh melalui pengumpulan dan korelasi aturan-aturan fuzzy. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode maksimum (max).
- 4) Penegasan (*defuzzifikasi*): input dari proses defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy yang dihasilkan dari komposisi aturan-aturan fuzzy. Output yang dihasilkan merupakan suatu nilai numerik dalam domain himpunan fuzzy, dan metode defuzzifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode centroid (Composite moment), yang mengambil titik pusat (z^*) dari daerah fuzzy dan dirumuskan sesuai dengan (3).

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

Dengan:

U = Output

w_i = Bobot nilai benar

u_i = Nilai linguistik pada fungsi keanggotaan keluaran

n = Banyak derajat keanggotaan

2.6. Fuzzy Logic Interference Sugeno

Metode interferensi Sugeno ini diperkenalkan oleh Takagi- Sugeno Kang pada tahun 1985. Metode ini dikembangkan hampir sama dengan metode Mamdani, namun aturan ini menghasilkan nilai output yang tegas berupa konstanta atau persamaan linear. Defuzifikasi pada metode ini menggunakan rata-rata terbobot yang berguna membantu menghindari proses yang lambat seperti metode Mamdani (Ross, 2010; Rindengan & Yohanes, 2019).

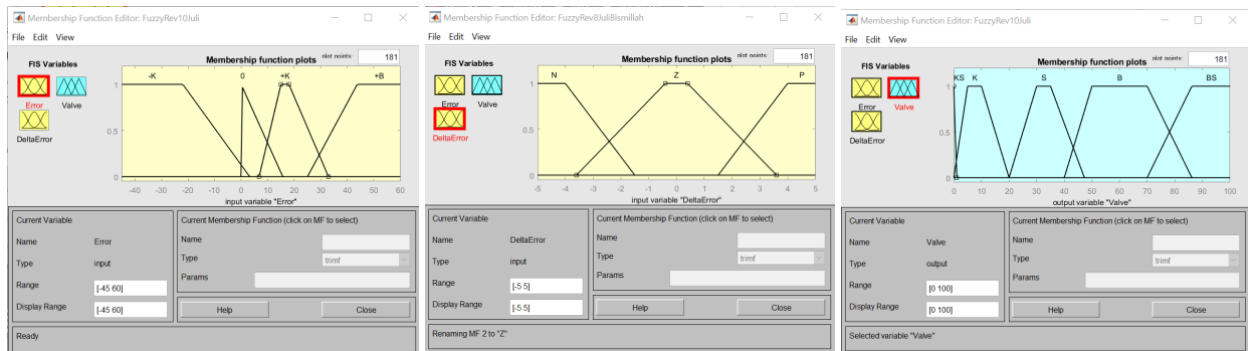
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian mengenai pengaturan suhu menggunakan *fuzzy logic control* memang sudah banyak diimplementasikan pada beberapa alat pengering (Cahyani *et al.*, 2023; Muradi & Kartika, 2023; Sari, 2023; Wijaya *et al.*, 2021; Suhariningsih & Rakhmawati, 2019; Ullah *et al.*, 2018), namun dari beberapa alat pengering tersebut masih belum terdapat alat yang bergerak secara dinamis sehingga penelitian ini memberikan adanya perbedaan yang signifikan terhadap cara pengambilan data suhu ketika proses pengeringan berlangsung. Pada bagian ini disajikan hasil yang diperoleh selama penelitian mulai dari hasil simulasi *Fuzzy Logic Control* menggunakan aplikasi Matlab 2016a serta menganalisis grafik hasil pengujian system control pada alat pengering biji kopi terhadap variabel suhu dan persentase pada metode interferensi mamdani dan sugeno. Yang terakhir adalah analisa mutu karakteristik biji kopi setelah dikeringkan menggunakan control yang paling optimal.

3.1. Simulasi dan Implementasi Fuzzy Logic Control Interferensi Mamdani

Desain *fuzzy logic control* yang dibuat terdiri dari 2 input yaitu error dan delta error, pada *fuzzy logic control* interferensi Mamdani, fungsi keanggotaan input error, terdapat empat kategori fungsi keanggotaan yaitu -K (Kecil dalam negative), 0, +K (Kecil dalam positif), dan +B (Besar dalam positif) sedangkan untuk delta error memiliki tiga kategori fungsi keanggotaan, yaitu N(Negatif), Z(Zero) dan P(Positif). Keluaran fungsi keanggotaan adalah persentase katup, ada lima kategori fungsi keanggotaan yaitu KS (Kecil Sekali), K (Kecil), S (Sedang), B (Besar) dan BS (Besar Sekali) yang memiliki rentang nilai tertentu yang menunjukkan besarnya persentase katup yang sesuai terhadap kondisi tertentu. Fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* interferensi mamdani dapat dilihat pada Gambar 6.

Rule based *fuzzy logic control* interferensi metode mamdani terdiri dari 12 aturan dikarenakan terdapat 2 input yang terdiri dari 4 dan 3 fungsi keanggotaan. Aturan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

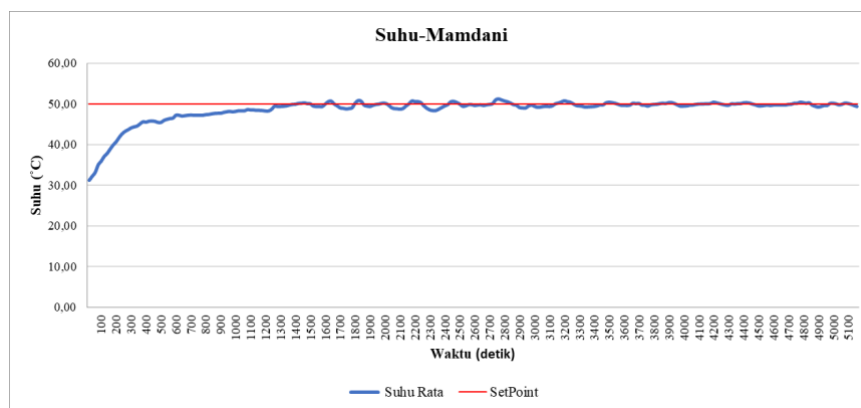


Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Fuzzy Logic Control Interferensi Mamdani

Tabel 1. Aturan Fuzzy Logic Control Interferensi Mamdani

		Delta Error		
		N	Z	P
Error	-K	KS	KS	KS
	0	S	S	B
	+K	B	B	BS
	+B	B	BS	BS

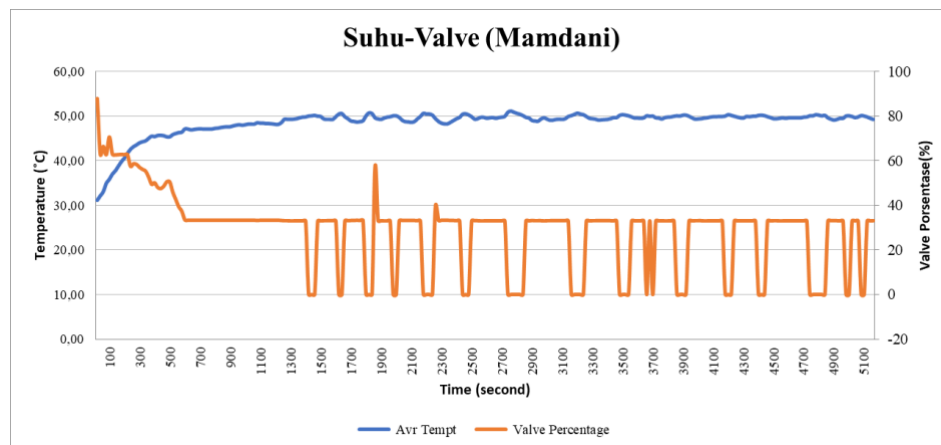
Berdasarkan grafik pada Gambar 7, sumbu X merupakan komponen waktu dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan komponen suhu dalam satuan °C. Data diambil selama 5100 detik atau selama 85 menit menunjukkan hasil suhu meningkat dari suhu awal sebesar 31°C hingga mencapai set point 50°C selama kurang lebih 1300 detik atau sekitar 22 menit. Setelah 22 menit, suhu mulai stabil dan naik turun disekitar suhu 50°C dengan suhu tertinggi yaitu 51,15°C dengan error 2,3% pada detik ke 2740 atau menit ke 45. Sedangkan suhu terendahnya adalah 48,90°C dengan persentase error sebesar 2,1% pada detik ke 2940 atau sekitar menit ke 49.



Gambar 7. Grafik Suhu terhadap Waktu Interferensi Mamdani

Gambar 8 merepresentasikan kenaikan suhu terhadap persentase valve dengan garis warna biru adalah kenaikan suhu dalam satuan °C sedangkan garis oranye merupakan persentase valve dengan satuan %. Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa ketika suhu rendah, error akan semakin tinggi dan bernilai positif yang artinya ketika error tinggi tersebut persentase valve akan sangat tinggi juga. Namun persentase valve akan terus mengalami penurunan hingga mencapai 33% dimana

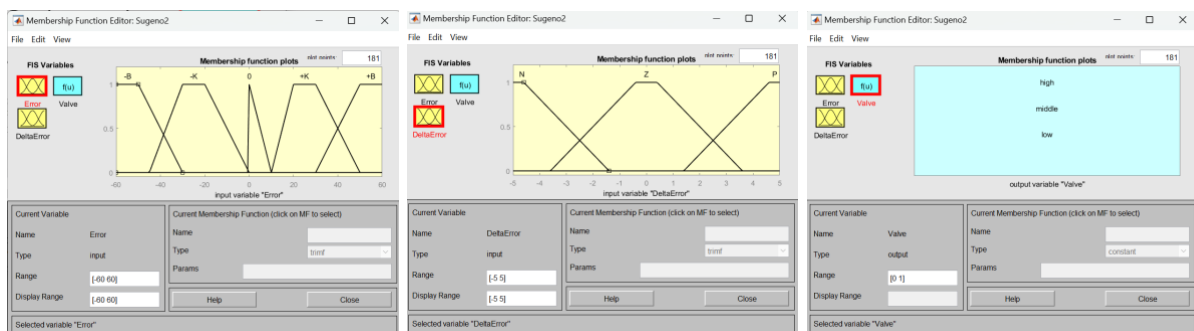
titik tersebut adalah titik ketika error sebesar 0% atau suhu telah mencapai set point. Pada titik tersebut, api akan dipertahankan pada keadaan tersebut sehingga persentase valve juga akan dipertahankan pada nilai tersebut. Namun, jika suhu mengalami kenaikan, maka persentase valve akan langsung turun ke nilai 0% dengan alasan agar suhu dapat segera turun dengan cepat. Sedangkan jika error telah mencapai titik 0% kembali, maka persentase valve akan naik lagi dan dipertahankan pada nilai 30%.



Gambar 8. Grafik Suhu dan Valve terhadap Waktu Interferensi Mamdani

3.2. Simulasi dan Implementasi Fuzzy Logic Control Interferensi Sugeno

Desain fuzzy logic control yang dibuat untuk interferensi Sugeno terdiri dari 2 input yaitu error dan delta error. Pada fungsi keanggotaan input error, terdapat lima kategori fungsi keanggotaan yaitu -B (Besar Negatif), -K (Kecil dalam negative), 0, +K (Kecil dalam positif), dan +B (Besar dalam positif) sedangkan untuk delta error memiliki tiga kategori fungsi keanggotaan, yaitu N(Negatif), Z(Zero) dan P(Positif). Keluaran fungsi keanggotaan adalah persentase katup, ada lima kategori fungsi keanggotaan yaitu *low*, *middle* dan *high*. Fungsi keanggotaan fuzzy logic control interferensi sugeno dapat dilihat pada Gambar 9.



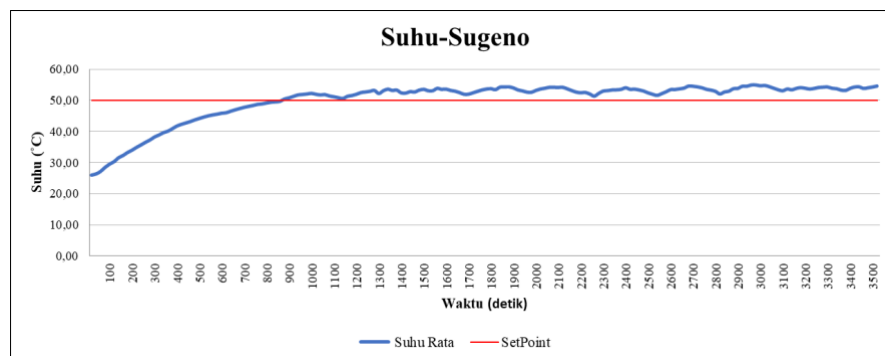
Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Fuzzy Logic Control Interferensi Sugeno

Rule based fuzzy logic control interferensi metode Sugeno terdiri dari 15 aturan dikarenakan terdapat 2 input yang terdiri dari 5 dan 3 fungsi keanggotaan. Aturan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

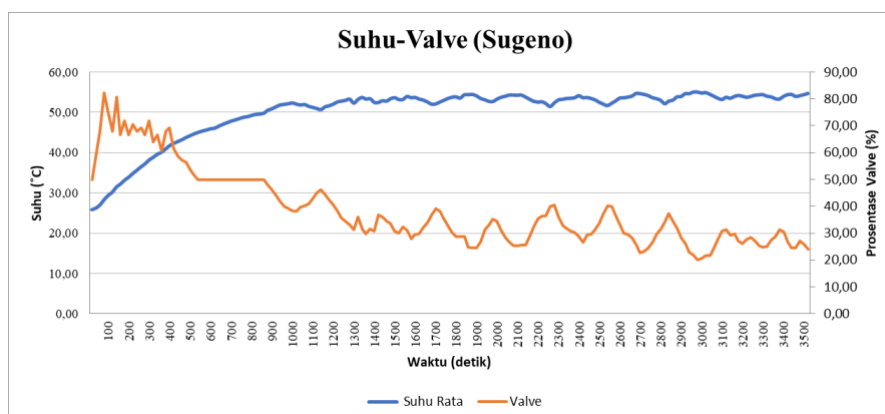
Tabel 2. Aturan *Fuzzy Logic Control* Interferensi Sugeno

		Delta Error		
		N	Z	P
Error	-B	L	L	L
	-K	L	L	L
	0	M	M	M
	+K	H	M	H
	+B	H	M	H

Pada [Gambar 10](#) merupakan grafik suhu terhadap waktu dari control *fuzzy logic* interferensi Sugeno. Sama seperti grafik pada interferensi Mamdani, pada grafik ini sumbu X merupakan komponen waktu dalam satuan detik dan sumbu Y merupakan komponen suhu dengan satuan °C. Berdasarkan grafik, terlihat bahwa suhu awal ketika pengambilan data sebesar 26°C dengan error maksimal 48%. Suhu terus mengalami kenaikan hingga waktu ke 900 detik atau sekitar 15 menit hingga mencapai suhu setpoint sebesar 50°C. Lalu suhu terus naik turun cukup jauh dari set point dengan suhu maksimal sebesar 55°C dengan error 10%. Dari grafik juga terlihat bahwa setelah suhu mulai turun ketika mencapai suhu tinggi, suhu tersebut belum mencapai 50°C namun sudah mulai naik lagi. Sehingga belum mencapai setpoint optimal dengan menggunakan control ini.



Gambar 10. Grafik Suhu terhadap Waktu Interferensi Sugeno



Gambar 11. Grafik Suhu dan Valve terhadap Waktu Interferensi Sugeno

[Gambar 11](#) merupakan grafik dengan metode Sugeno dimana ketika suhu masih di bawah 30°C, persentase valve sangat tinggi mencapai 55 persen, namun ketika suhu telah mencapai 50°C, valve mulai mempertahankan kondisinya agar suhu tidak naik secara tajam. Namun, ketika suhu

terus naik hingga melebihi 50°C persentase valve tidak turun secara signifikan sehingga suhu juga tidak turun secara cepat dan menyebabkan suhu tidak konstan di titik 50°C serta menghasilkan error yang tinggi.

3.3. Mutu Karakteristik Hasil Uji Kopi

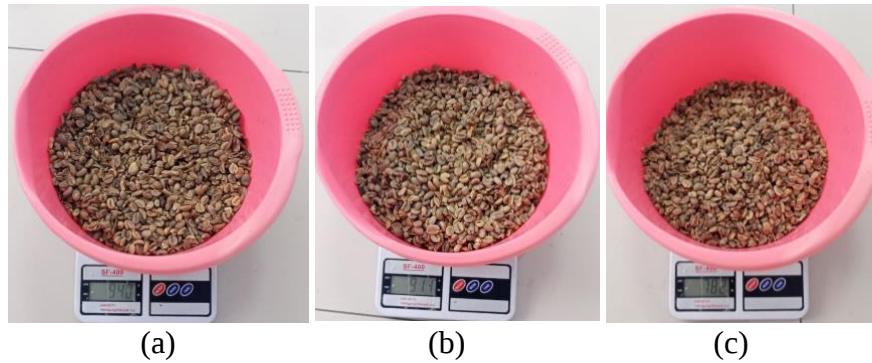
Berdasarkan percobaan system control antara *fuzzy logic control* inferensi mamdani dan sugeno, didapatkan hasil bahwa kontrol suhu yang lebih stabil yaitu menggunakan control inferensi mamdani. Pengaturan suhu dengan *fuzzy logic control* inferensi mamdani dengan set point 50°C tetap dijaga konstan dengan suhu paling tinggi adalah 51,15°C dengan error 2,3% sedangkan nilai terendah ketika terjadi penurunan suhu setelah mencapai set point adalah 49°C dengan nilai error 2%. Nilai tersebut sudah stabil dibandingkan dengan kontrol *fuzzy logic control* dengan metode inferensi sugeno dengan error maksimalnya adalah 10% pada suhu 55 °C. Dengan mengatur suhu konstan 50°C menggunakan metode *fuzzy logic control* inferensi Mamdani, didapatkan hasil biji kopi kering dengan kadar air 12,5% dengan waktu pengeringan 90 menit.



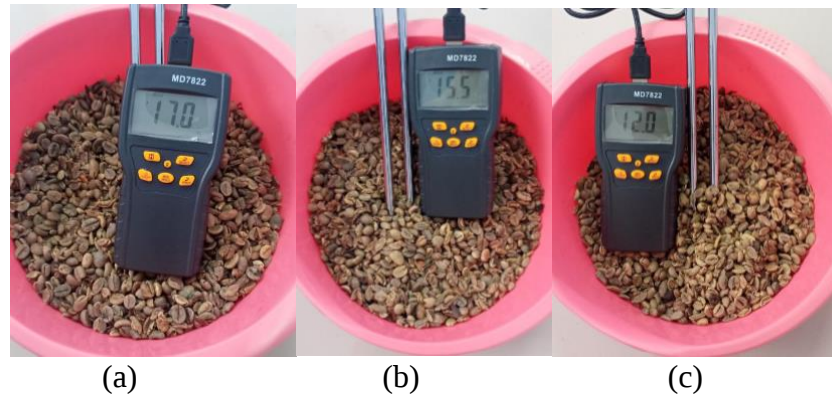
Gambar 12. (a) Massa kopi sebelum dikeringkan (b) Kadar air biji kopi sebelum dikeringkan

Pengamatan hasil pengeringan biji kopi Robusta berdasarkan pada perlakuan pengaturan suhu menggunakan parameter error dan delta error, dapat diamati kadar air pada bahan tersebut setelah dilakukan pengeringan bervariasi selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Massa biji kopi sebelum dilakukan pengeringan sebesar 1000-gram dengan kadar air 23,5% dapat dilihat pada [Gambar 12](#).

Kadar air biji kopi kering dapat diketahui dengan analisa kadar air menggunakan grain meter serta perhitungan penurunan kadar air menggunakan rumus pada (4). Kadar air dan massa produk setelah dilakukannya proses pengeringan tertera pada [Tabel 3](#) serta pada [Gambar 13](#) dan [Gambar 14](#).



Gambar 13. Massa biji kopi setelah dikeringakn selama (a) 30 menit (b) 60 menit (c) 90 menit



Gambar 14. Kadar air biji kopi setelah dikeringakan selama (a) 30 menit (b) 60 menit (c) 90 menit

$$\text{Penurunan kadar air} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan:

m_0 = berat cawan dan tutup (gram)

m_1 = berat cawan, tutup dan cuplikan kopi sebelum pengeringan (gram)

m_2 = berat cawan, tutup dan cuplikan kopi setelah pengeringan (gram)

Tabel 3. Kadar Air Sebelum dan Sesudah Pengeringan

Waktu (menit)	Kadar Air Awal (%)	Massa Awal (gram)	Kadar Air Akhir (%)	Massa Akhir (gram)	Perhitungan Penurunan Kadar Air (%)
30	23,5%	1000	17%	940	6%
60	23,5%	1000	15,5%	914	9%
90	23,5%	1000	12%	784	22%

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa implementasi kontrol logika *fuzzy* yang digunakan pada alat pengering biji kopi yang sesuai adalah interferensi mamdani dengan nilai error yang rendah sebesar 2,1% pada suhu 51,15 °C dibandingkan dengan interferensi sugeno dengan error 10% pada suhu 55°C. Kontrol logika *fuzzy* yang dipilih adalah interferensi Mamdani dengan alasan nilai error yang lebih rendah daripada metode Sugeno. Hasil pengeringan

biji kopi dengan massa 1000-gram menggunakan metode interferensi Mamdani pada suhu 30, 60 dan 90 menit di suhu 50°C mendapatkan nilai kadar air sebesar 17%, 15,5% dan 12,5% sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu yang tepat untuk mengeringkan biji kopi dengan massa 1000-gram pada suhu 50°C adalah 90 menit.

Ucapan Terima Kasih

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi. Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi. Yang telah memberikan hibah melalui skema PTM (Penelitian Magister) tahun 2022-2023 berdasarkan SK Nomor 12903/PL2/KP/2023 dan Kontrak No. 12892/PL2.2/HK/2023

Daftar Pustaka

- Alhabsy, M. F., Lengkey, L. C. C. E., & Ludong, M. M. (2021). Perbandingan Mutu Biji Kopi Robusta (*coffea canephora*) Hasil Pengeringan Secara Pengasapan dan Penjemuran Di Perkebunan Kopi Desa Purworejo Kabupaten Bolaang Mongondow Timur. *Cocos*, 13(3), 1–11. <https://doi.org/doi.org/10.35791/cocos.v4i4.34627>
- Alixandre, R. D., Alixandre, F. T., de Lima, P. A. M., Fornazier, M. J., Krohling, C. A., do Amaral, J. F. T., ..., & Viçosi, D. B. (2023). Physical and sensorial quality of arabica coffee cultivars submitted to two types of post-harvesting processing. *Coffee Science*, 18, 1–9. <https://doi.org/10.25186/v18i.2081>
- Analianasari, A., Win, E. K., Berliana, D., Yulia, M., & Shintawati. (2021). Penguatan Kapasitas Produksi Kopi Robusta Premium Gapoktan Triguna 4.5. *Qardhul Hasan*, 7(1), 126–132. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:244966353>
- BSN (Badan Standardisasi Nasional). (2008). SNI 01-2907-2008: Biji Kopi. In *Badan Standardisasi Nasional*. <http://lib.kemenperin.go.id/neo/detail.php?id=225640>
- Cahyani, A. D., Dewatama, D., & Kamajaya, L. (2023). Implementasi Fuzzy Logic Control Pada Alat Pengering Cengkeh Otomatis. *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, 2(9), 2647–2658. <https://doi.org/10.58344/jmi.v2i9.522>
- de Oliveira, P. D., Biaggioni, M. A. M., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., & de Oliveira Vaz Damasceno, M. (2018). Quality of natural and pulped coffee as a function of temperature changes during mechanical drying. *Coffee Science*, 13(4), 415–425. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i4.1435>
- Hale, A. R., Ruegger, P. M., Rolshausen, P., Borneman, J., & Yang, J. in. (2022). Fungi associated with the potato taste defect in coffee beans from Rwanda. *Botanical Studies*, 63(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s40529-022-00346-9>
- Hall, R. D., Trevisan, F., & de Vos, R. C. H. (2022). Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity. *Food Research International*, 151(November 2021), 110825. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110825>
- Harada, K., Wiyono, & Munthe, L. (2022). Production and commercialization of benzoin resin: Exploring the value of benzoin resin for local livelihoods in North Sumatra, Indonesia. *Trees, Forests and People*, 7(November 2021), 100174. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100174>
- ICC-102-9. (2011). *RULES ON STATISTICS CERTIFICATES OF ORIGIN*. [https://www.bing.com/ck/a?!&&p=04b88c7cad8499f3JmltdHM9MTcwMTIxNjAwMCZpZ3VpZD0zMzY4Y2I3ZC0zM2IyLTU5ZmUtMmY2Yi1kOGU5MzJlNDY4YjMmaW5zaWQ9NTE4NA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=3368cb7d-33b2-69fe-2f6b-d8e932e468b3&psq=ICC%e2%80%90102%e2%80%90909.\(2011\).+RULES+ON+STATISTICS+CERTIFICATES+OF+ORIGIN.&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuaWNvLm9yZy9kb2N](https://www.bing.com/ck/a?!&&p=04b88c7cad8499f3JmltdHM9MTcwMTIxNjAwMCZpZ3VpZD0zMzY4Y2I3ZC0zM2IyLTU5ZmUtMmY2Yi1kOGU5MzJlNDY4YjMmaW5zaWQ9NTE4NA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=3368cb7d-33b2-69fe-2f6b-d8e932e468b3&psq=ICC%e2%80%90102%e2%80%90909.(2011).+RULES+ON+STATISTICS+CERTIFICATES+OF+ORIGIN.&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuaWNvLm9yZy9kb2N)

- ICO. (2019). *Survey on the impact of low coffee prices on exporting countries*. Icc 124-4 4, 23. <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=04b88c7cad8499f3JmltdHM9MTcwMTIxNjAwMCZpZ3VpZD0zMzY4Y2I3ZC0zM2IyLTU5ZmUtMmY2Yi1kOGU5MzJlNDY4YjMmaW5zaWQ9NTE4NA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=3368cb7d-33b2-69fe-2f6b-d8e932e468b3&psq=ICC%e2%80%90102%e2%80%909.+>(2011).+RULES+ON+STATISTICS+CERTIFICATES+OF+ORIGIN.&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuaWNvLm9yZy9kb2N1bWVudHMvaWNjLTEwMi05ZS1ydWxlcY1jZXJ0aWZpY2F0ZXMtZmluYWwucGRm&ntb=1
- Kath, J., Byraredy, V. M., Mushtaq, S., Craparo, A., & Porcel, M. (2021). Temperature and rainfall impacts on robusta coffee bean characteristics. *Climate Risk Management*, 32(January), 100281. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100281>
- Largo-Avila, E., Suárez-Rodríguez, C. H., Maya, J. C., Ciro-Velásquez, H. J., & Chejne, F. (2023). Changes in fatty acids profile and sucrose concentration of coffee beans during drying process. *Journal of Food Process Engineering*, 46(11). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14385>
- Lilia, D., Damiri, N., Zulkarnain, M., & Mulawarman, M. (2021). Short Communication: Drying methods and diversity of contaminant fungi on coffee beans in South Ogan Komering Ulu District, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(2), 1037–1042. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220260>
- Manalu, D. S. T., Harianto, H., Suharno, S., & Hartoyo, S. (2020). Permintaan Kopi Biji Indonesia di Pasar Internasional. *AGRIEKONOMIKA*, 9(1), 114–126. <https://doi.org/10.21107/agriekonomika.v9i1.7346>
- Muradi, R., & Kartika, K. (2023). Fish Dryer With Temperature Control Using the Fuzzy Logic Method. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.52088/ijesty.v3i1.403>
- Pangururan, K., Samosir, K., Siagian, P., Napitupulu, R. A. M., Siagian, L., Pasaribu, V. A., Naibaho, T., Guth, D., & Havrlík, M. (2022). Perawatan dan Edukasi Tentang Pengerian Kopi Sistim Green House Milik Kopi Pardosir di Desa Parbaba Dolok. 2(1), 1–11. <https://publisher.yccm.or.id/index.php/cab/article/view/67/74>
- Price, G. C. (2022). *Coffee prices close 2022 on a stable note, coalescing at around 160 US cents/lb* (December). <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=0c39f22bb48b9d09JmltdHM9MTcwMTIxNjAwMCZpZ3VpZD0zMzY4Y2I3ZC0zM2IyLTU5ZmUtMmY2Yi1kOGU5MzJlNDY4YjMmaW5zaWQ9NTE3Nw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=3368cb7d-33b2-69fe-2f6b-d8e932e468b3&psq=Price%2c+G.+C.+>(2022).+Coffee+prices+close+2022+on+a+stable+note%2c+coalescing+at+around+160+US+cents%2flb+(Issue+December).&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuaWNvLm9yZy9kb2N1bWVudHMvY3kyMDIyLTU5ZmUtMmY2Yi1kOGU5MzJlNDY4YjMmaW5zaWQ9NTE3Nw&ntb=1
- Ramadhani, W. S., Paramudita, I., Lailiyah, Q., & Bakti, P. (2020). KARAKTERISTIK KINERJA KOMPOR GAS LPG MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR DME DENGAN VARIASI DIAMETER NOZZLE DAN TEKANAN KERJA KOMPOR. *Jurnal Standardisasi*, 22(3), 199. <https://doi.org/10.31153/js.v22i3.813>
- Rindengan, A. J., & Yohanes, A. L. (2019). Sistem Fuzzy. In *Sistem Fuzzy*.
- Ross, T. J. (2010). Fuzzy Logic with Engineering Applications. In *Fuzzy Logic with Engineering Applications: Third Edition*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119994374>
- Sari, Y. (2023). Kontrol Kecepatan dan Suhu pada Pembersih Porang Berbasis Arduino Uno Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *Jurnal Teknik Indonesia*. 2(April), 14–28. <https://doi.org/10.58860/jti.v2i3.129>.
- Silaban, R., Panjaitan, K., Pakpahan, B. M. T., & Siregar, B. (2020). Efektivitas Pengeringan Biji Kopi Menggunakan Oven Pengerian Terkontrol. *Virtual Seminar Nasional Hasil*

- Pengabdian Kepada Masyarakat LPPM UNIMED, November*, 39–44. 25 November 2020.
- Simbolon, R. C. (2021). Uji Produktivitas Mesin Pengerong Biji Kopi Dengan Kontrol Temperatur Ruang Pengerong Kapasitas 10KG/PROSES. *Jurnal Engineering Development*, 1(1), 57–63. <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/edev>
<https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/edev/article/view/24913>
- Sousa, T. M. A., Batista, L. R., Passamani, F. R. F., Lira, N. A., Cardoso, M. G., Santiago, W. D., & Chalfoun, S. M. (2019). Evaluation of the effects of temperature on processed coffee beans in the presence of fungi and ochratoxin A. *Journal of Food Safety*, 39(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfs.12584>
- Suhariningsih, S., & Rakhmawati, R. (2019). PENERAPAN KONTROL LOGIKA FUZZY PADA SISTEM PENERONG IRISAN KRIPIK SINGKONG. *Seminar Nasional Kontrol, Instrumentasi Dan Otomasi (SNIKO) 2018*, 213–220. <https://doi.org/10.5614/sniko.2018.24>
- Sutrisno, Ariwibowo, D., Yulianto, M. E., & Sitawati, R. (2020). Characteristic of Vertical Mixed Flow Dryer in Coffee Bean Drying Process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 771(1), 012070. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/771/1/012070>
- Ullah, A., Kharisma, O. B., & Santoso, I. (2018). Fuzzy Logic Implementation to Control Temperature and Humidity in a Bread Proofing Machine. *Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining*, 1(2), 66. <https://doi.org/10.24014/ijaidm.v1i2.5664>
- Umaran, T., Perdana, T., Kurniadie, D., & Parikesit, P. (2022). Co-Creation Approach in Designing a Sustainable Coffee Supply Chain (a Case in Bandung Regency, West Java, Indonesia). *Sustainability (Switzerland)*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su14010476>
- Wijaya, E. S., Sari, Y., Baskara, A. R., & Rivaldy, A. (2021). Penerapan Logika Fuzzy Tsukamoto Untuk Pemantauan Kestabilan Suhu Menggunakan Sensor DS18B2 Pada Styrofoam Box Pengemasan Ikan. *Journal of Science and Technology Naskah*, 2(1), 59-77. <https://doi.org/10.51135/justevol2issue1page59-77>