

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 27 No. 4 (2026): October
DOI: 10.21070/ijins.v27i4.2328

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

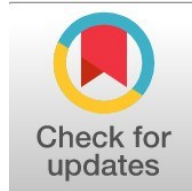
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

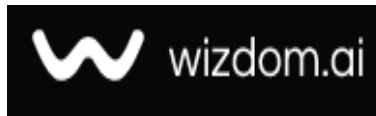
How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

**Centre of Gravity Based Fuzzy Logic Control for Autoclave
Pressure Stabilisation with Internet of Things Monitoring:
Pengendalian Logika Fuzzy Berbasis Pusat Gravitasi untuk
Stabilisasi Tekanan Autoklaf dengan Pemantauan Internet of
Things**

Agus Hayatal Falah, agushf@umsida.ac.id

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo,
Indonesia*

Izza Anshory, izzaanshory@umsida.ac.id

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo,
Indonesia*

Arief Wisaksono, ariefwisaksono@umsida.ac.id

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo,
Indonesia*

Syamsudduha Syahririni, syamsudduha1@umsida.ac.id

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo,
Indonesia*

Shazana Dhiya Ayuni, shazana@umsida.ac.id (*)

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo,
Indonesia*

(*) Corresponding author

Abstract

General Background Autoclave sterilization relies on pressurized steam, making stable pressure and temperature important process parameters. **Specific Background** A previous Arduino and Internet of Things autoclave used binary on-off heater regulation, which may generate repeated switching around the setpoint because stored thermal energy can continue raising pressure after the heater is switched off. **Knowledge Gap** The existing system therefore requires a nonbinary regulation structure capable of adjusting heating intensity according to pressure conditions rather than relying solely on on-off switching. **Aims** This study develops a Mamdani fuzzy logic controller using normalized pressure error and change of error as inputs and heater duty cycle as the output obtained through Center of Gravity defuzzification. **Results** Five linguistic sets for each variable generated 25 fuzzy rules. Static inference at zero change of error produced approximately 2.67–3.04% output above the setpoint, 20% at the setpoint, and 32.59–75.00% below the setpoint, demonstrating progressively adjusted heating action. **Novelty** The proposed configuration extends the existing Arduino and Internet of Things autoclave architecture by integrating normalized error, Mamdani inference, Center of Gravity defuzzification, and time-proportional heater operation. **Implications** The structure provides a basis for smoother pressure regulation and traceable monitoring, but hardware testing remains necessary before claims regarding overshoot, settling time, relay switching, or energy consumption can be established.

Highlights:

- Twenty five IF THEN rules map normalized pressure error and error change to duty cycle.
- Above setpoint conditions yielded COG outputs near 2.7–3.0%, whereas lower pressures required 32.59–75.00%.
- Dynamic hardware validation remains necessary before overshoot, settling time, switching, or energy claims.

Keywords: Autoclave, Center of Gravity, Fuzzy Logic Control, Internet of Things, Pressure Control

Published date: 2026-09-01

Pendahuluan

Sterilisasi merupakan proses penting pada fasilitas medis dan laboratorium untuk memastikan peralatan bebas dari mikroorganisme. Autoclave memanfaatkan uap bertekanan, sehingga kestabilan tekanan dan temperatur menjadi parameter utama dalam keberhasilan proses. Sistem autoclave berbasis Arduino dan Internet of Things (IoT) sebelumnya telah menggunakan sensor tekanan, termokopel tipe-K dengan MAX6675, heater, solenoid valve, LCD, serta ESP8266 untuk monitoring jarak jauh [1]. Penelitian lain juga menunjukkan penggunaan sensor dan mikrokontroler untuk otomasi autoclave [2], monitoring parameter proses [3], serta penerapan IoT pada perangkat sterilisasi dan sistem industri [4]-[6].

Pada sistem sebelumnya, pengaturan heater dilakukan dengan logika on-off: heater aktif saat tekanan masih di bawah setpoint dan dimatikan saat tekanan mencapai atau melebihi setpoint [1]. Pendekatan ini mudah diterapkan, tetapi pada plant termal dapat menimbulkan siklus hidup-mati yang berulang di sekitar setpoint. Inersia panas menyebabkan energi masih tersimpan setelah heater dimatikan, sehingga tekanan dapat tetap meningkat dan menghasilkan overshoot. Sebaliknya, pemadaman yang terlalu lama dapat menyebabkan tekanan turun sebelum heater kembali aktif. Kondisi ini menunjukkan perlunya aksi kontrol yang tidak hanya biner, tetapi dapat menyesuaikan intensitas pemanasan terhadap kondisi proses[7]-[10].

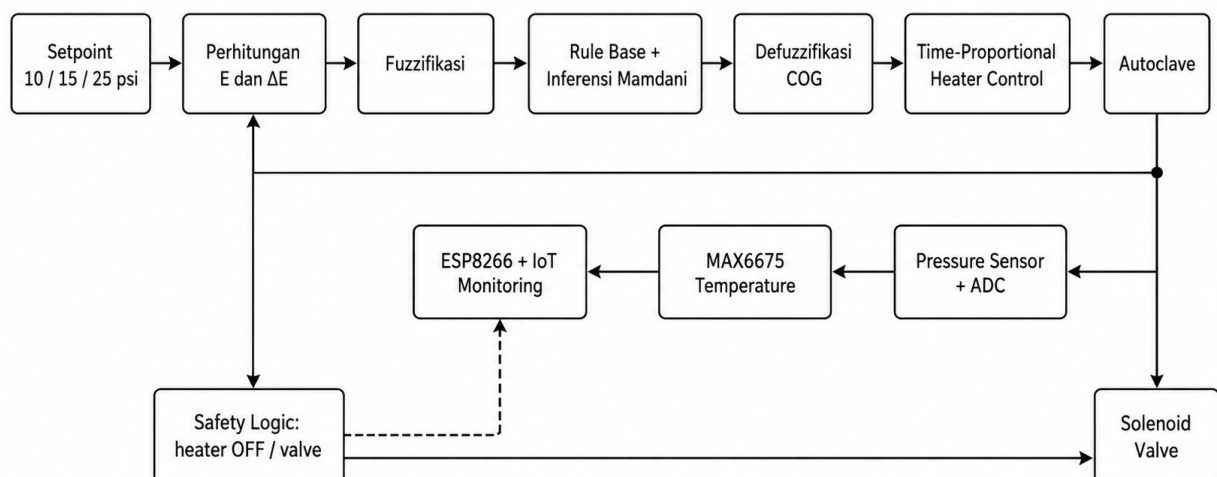
Fuzzy Logic Control (FLC) memungkinkan aksi kontrol ditentukan melalui pengetahuan linguistik tanpa membutuhkan model matematis plant yang sangat rinci. Konsep himpunan fuzzy diperkenalkan oleh Zadeh [11], sedangkan mekanisme pengendali linguistik Mamdani mengembangkan inferensi berbasis aturan IF-THEN [12]. Pada konteks pengendalian termal, pendekatan berbasis pengendali yang lebih adaptif digunakan untuk memperbaiki kestabilan parameter proses [7]-[10]. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem autoclave sebelumnya menjadi FLC tipe Mamdani dengan dua masukan, yaitu normalized pressure error dan change of error, serta satu keluaran berupa duty cycle heater yang diperoleh menggunakan Center of Gravity (COG). Tujuan penelitian adalah menyusun struktur pengendali, fungsi keanggotaan, rule base, dan karakteristik keluaran COG sebagai dasar implementasi serta pengujian hardware lanjutan.

Metode

A. Platform Sistem

Platform perangkat mengacu pada sistem autoclave terdahulu yang terdiri atas Arduino Uno sebagai pengendali utama, sensor tekanan sebagai feedback, MAX6675 dan termokopel tipe-K untuk pengukuran temperatur, ESP8266 sebagai koneksi IoT, LCD I2C, relay heater, dan solenoid valve [1]. Tiga setpoint tekanan dipilih melalui push button, yaitu 10, 15, dan 25 psi. Kalibrasi sensor tekanan pada sistem sebelumnya menghasilkan hubungan linear antara nilai ADC dan tekanan sebagaimana Persamaan (1).

$$P \text{ (psi)} = 0.0401 \times \text{ADC} - 6.60 \quad (1)$$



Gambar 1. Blok diagram Fuzzy Logic Control pada sistem autoclave.

Pada arsitektur yang diusulkan, sensor tekanan menyediakan feedback ke pengendali fuzzy. Nilai setpoint dibandingkan dengan tekanan aktual untuk menghasilkan error dan perubahan error. Setelah proses fuzzifikasi dan inferensi Mamdani, nilai keluaran fuzzy diubah menjadi nilai crisp menggunakan COG. Nilai tersebut digunakan untuk mengatur heater secara time-proportional. Solenoid valve tetap dipertahankan sebagai aktuatur pelepas tekanan setelah proses selesai dan sebagai bagian dari jalur keselamatan.

B. Variabel Masukan dan Keluaran Fuzzy

Agar pengendali dapat digunakan pada seluruh setpoint, error dinormalisasi terhadap setpoint. Normalized pressure error $E(k)$ dan change of error $\Delta E(k)$ dihitung menggunakan Persamaan (2) dan (3).

$$E(k) = [P_{sp} - P(k)] / P_{sp} \quad (2)$$

$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (3)$$

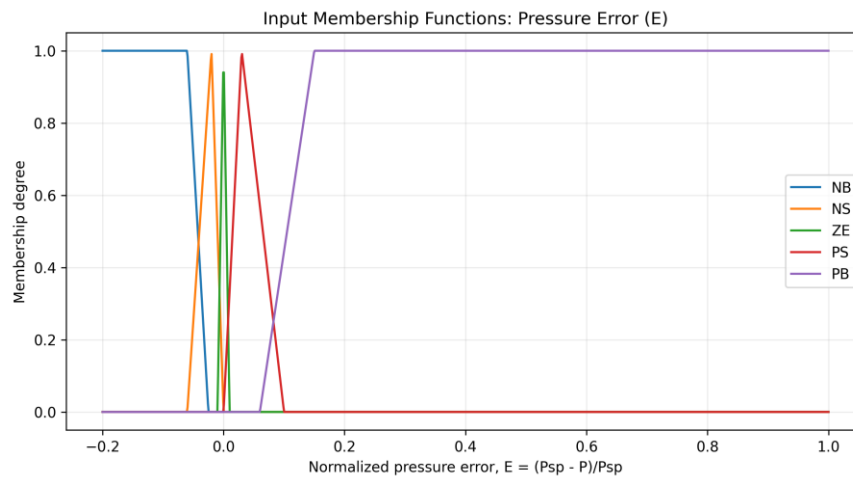
Nilai E positif menunjukkan tekanan aktual masih berada di bawah setpoint sehingga kebutuhan pemanasan meningkat. Nilai E negatif menunjukkan tekanan telah melewati setpoint. Sementara itu, ΔE menunjukkan arah perubahan error. Nilai ΔE positif menandakan error membesar, sedangkan nilai negatif menunjukkan error sedang mengecil. Keluaran U merupakan duty cycle heater pada rentang 0-100%.

C. Fungsi Keanggotaan

Masing-masing masukan dibagi menjadi lima himpunan linguistik, yaitu Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), dan Positive Big (PB). Keluaran heater menggunakan lima himpunan, yaitu OFF, LOW, MED, HIGH, dan MAX. Parameter fungsi keanggotaan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter fungsi keanggotaan FLC

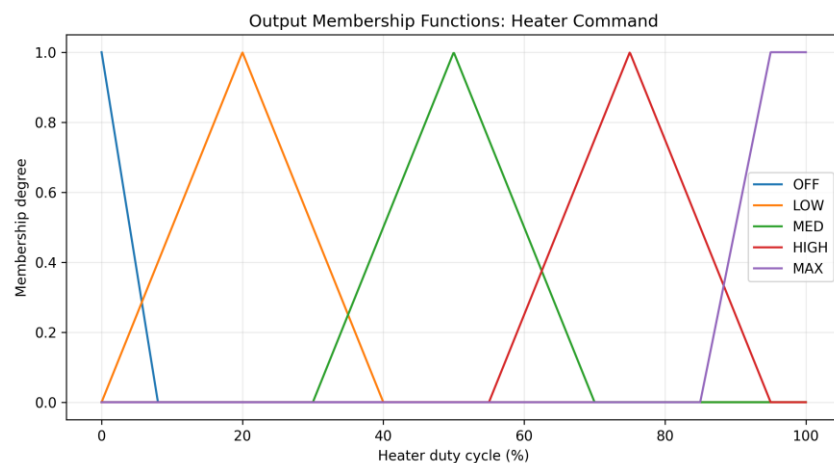
Variabel	Linguistik	Tipe	Parameter
E	NB	Trapezium	(-0,20; -0,20; -0,06; -0,025)
E	NS	Segitiga	(-0,06; -0,02; 0)
E	ZE	Segitiga	(-0,01; 0; 0,01)
E	PS	Segitiga	(0; 0,03; 0,10)
E	PB	Trapezium	(0,06; 0,15; 1,00; 1,00)
ΔE	NB	Trapezium	(-0,10; -0,10; -0,04; -0,015)
ΔE	NS	Segitiga	(-0,04; -0,015; 0)
ΔE	ZE	Segitiga	(-0,008; 0; 0,008)
ΔE	PS	Segitiga	(0; 0,015; 0,04)
ΔE	PB	Trapezium	(0,015; 0,04; 0,10; 0,10)
U	OFF	Trapezium	(0; 0; 0; 8)%
U	LOW	Segitiga	(0; 20; 40)%
U	MED	Segitiga	(30; 50; 70)%
U	HIGH	Segitiga	(55; 75; 95)%
U	MAX	Trapezium	(85; 95; 100; 100)%



Gambar 2. Fungsi keanggotaan input error tekanan E.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan input perubahan error ΔE .



Gambar 4. Fungsi keanggotaan output duty cycle heater.

D. Rule Base Fuzzy

Rule base dirancang agar aksi heater besar ketika tekanan jauh di bawah setpoint, berkurang ketika tekanan mendekati setpoint, dan sangat kecil atau mati ketika tekanan berada di atas setpoint. Kombinasi lima himpunan E dan lima himpunan ΔE menghasilkan 25 aturan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rule base fuzzy 5×5

E / ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	OFF	OFF	OFF	OFF	LOW
NS	OFF	OFF	OFF	LOW	MED
ZE	OFF	OFF	LOW	MED	HIGH
PS	LOW	MED	HIGH	HIGH	MAX
PB	MED	HIGH	MAX	MAX	MAX

Sebagai contoh, rule IF E is PB AND ΔE is PB THEN U is MAX digunakan ketika tekanan jauh di bawah setpoint dan error masih meningkat, sehingga heater diberikan aksi maksimum. Sebaliknya, IF E is NB AND ΔE is ZE THEN U is OFF digunakan ketika tekanan telah melewati setpoint dan perubahan error kecil, sehingga suplai panas dihentikan.

E. Inferensi Mamdani dan Defuzzifikasi Center of Gravity

Derajat aktivasi setiap rule ditentukan menggunakan operator AND minimum sebagaimana Persamaan (4). Implikasi Mamdani dilakukan dengan memotong fungsi keanggotaan output sesuai firing strength, kemudian seluruh keluaran rule diagregasi dengan operator maksimum.

$$\alpha_r = \min[\mu_A(E), \mu_B(\Delta E)] \quad (4)$$

Nilai crisp keluaran diperoleh menggunakan metode Center of Gravity sebagaimana Persamaan (5).

$$u^* = \int u \cdot \mu_{agg}(u) du / \int \mu_{agg}(u) du \quad (5)$$

Nilai u^* berada pada rentang 0-100% dan digunakan sebagai duty cycle heater. Karena sistem menggunakan relay, keluaran tidak diterapkan sebagai PWM frekuensi tinggi, tetapi sebagai time-proportional control. Sebagai contoh, pada jendela waktu 10 s, waktu heater aktif dapat dihitung $Ton = (u^*/100) \times 10$ s. Untuk mencegah switching yang terlalu sering, nilai keluaran sangat kecil dapat diberi deadband sehingga heater dipaksa OFF.

F. Rancangan Pengujian

Pengujian hardware FLC dirancang pada setpoint 10, 15, dan 25 psi dengan durasi 15 menit setelah setpoint tercapai, mengikuti skenario pengujian sistem sebelumnya [1]. Data tekanan, temperatur, duty heater, status solenoid, dan timestamp direkam minimal setiap 1 s. Setiap mode disarankan diulang sedikitnya lima kali. Evaluasi dilakukan menggunakan maximum overshoot, rise time, settling time, steady-state error, mean absolute error, root mean square error, integral absolute error, standar deviasi tekanan steady-state, jumlah switching relay, dan konsumsi energi heater. Hasil FLC perlu dibandingkan dengan kontrol on-off pada kondisi pengujian yang sama.

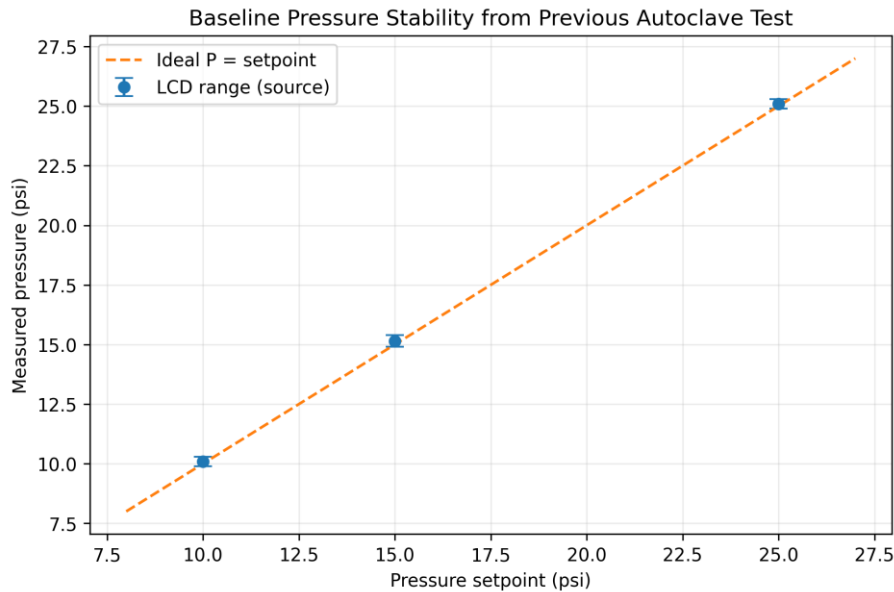
Hasil dan Pembahasan

A. Baseline Sistem On-Off

Artikel sumber melaporkan bahwa sistem on-off mampu mempertahankan tekanan pada tiga setpoint. Pada setpoint 10 psi, LCD menunjukkan 9,9-10,3 psi dengan temperatur 95-96 °C; pada 15 psi diperoleh 14,9-15,4 psi dan 105-106 °C; sedangkan pada 25 psi diperoleh 24,9-25,3 psi dan 118-120 °C. Ketiga pengujian dilakukan selama 15 menit [1]. Rentang ini digunakan sebagai baseline untuk menganalisis arah aksi kontrol fuzzy, bukan sebagai hasil pengujian FLC.

Tabel 3. Baseline tekanan dan temperatur sistem sebelumnya

Setpoint (psi)	Tekanan LCD (psi)	Tekanan aktual (psi)	Temperatur (°C)	Durasi (menit)
10	9,9-10,3	10	95-96	15
15	14,9-15,4	15	105-106	15
25	24,9-25,3	25	118-120	15



Gambar 5. Grafik baseline rentang tekanan pada pengujian sistem sebelumnya.

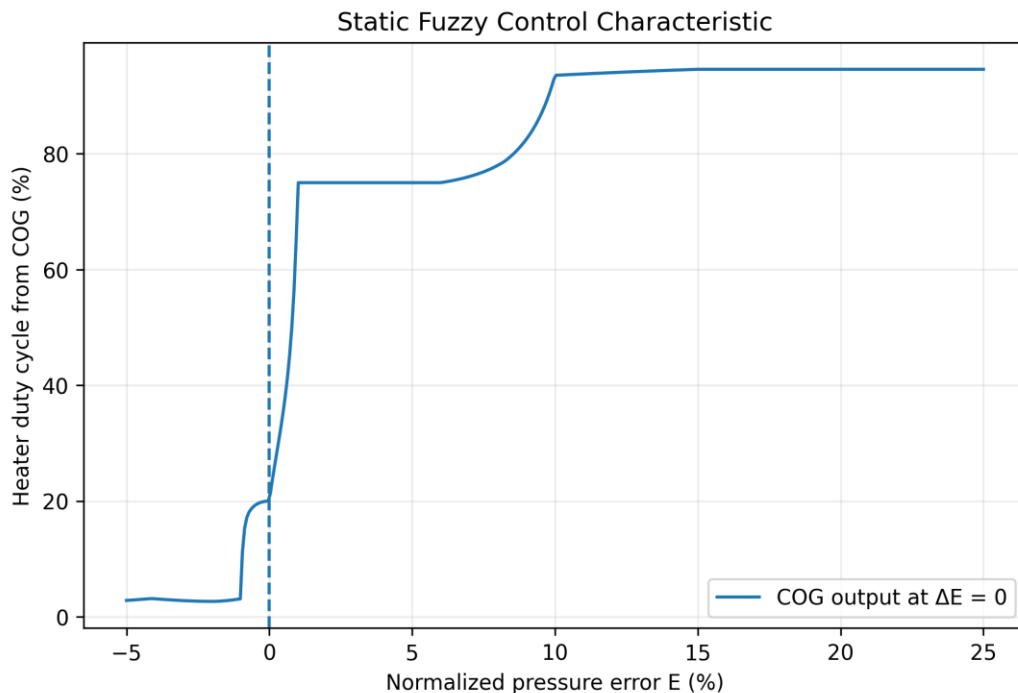
Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai tekanan yang dilaporkan berada dekat dengan garis ideal $P = \text{setpoint}$. Namun, data sumber hanya menyediakan rentang pembacaan dan tidak menyediakan time-series tekanan per detik. Oleh sebab itu, overshoot, settling time, serta frekuensi switching kontrol on-off belum dapat dihitung secara kuantitatif dari data tersebut.

B. Hasil Inferensi Fuzzy Statis

Untuk mengevaluasi perilaku rule base sebelum implementasi hardware, inferensi fuzzy dilakukan pada batas bawah, setpoint, dan batas atas dari rentang tekanan baseline. Pada evaluasi ini ΔE ditetapkan nol, sehingga hasil menggambarkan aksi pengendali ketika perubahan error sangat kecil. Hasil pada Tabel 4 merupakan keluaran komputasional FLC, bukan data eksperimen autoclave setelah FLC diimplementasikan.

Tabel 4. Hasil inferensi fuzzy statis pada kondisi baseline

Setpoint (psi)	Kondisi	Tekanan (psi)	E (%)	Output COG (%)
10	Batas bawah	9,90	1,000	75,00
10	Setpoint	10,00	0,000	20,00
10	Batas atas	10,30	-3,000	2,67
15	Batas bawah	14,90	0,667	42,91
15	Setpoint	15,00	0,000	20,00
15	Batas atas	15,40	-2,667	2,85
25	Batas bawah	24,90	0,400	32,59
25	Setpoint	25,00	0,000	20,00
25	Batas atas	25,30	-1,200	3,04



Gambar 6. Karakteristik statis keluaran COG terhadap normalized error pada $\Delta E = 0$.

Ketika tekanan berada di atas setpoint, error bernilai negatif sehingga keluaran COG turun ke kisaran sekitar 2,7-3,0%. Kondisi ini membuat heater praktis dapat dimatikan setelah deadband diterapkan. Sebaliknya, ketika tekanan sedikit di bawah setpoint, output meningkat secara adaptif: sekitar 75% pada 9,9 psi untuk setpoint 10 psi, 42,91% pada 14,9 psi untuk setpoint 15 psi, dan 32,59% pada 24,9 psi untuk setpoint 25 psi. Perbedaan ini merupakan konsekuensi penggunaan error ternormalisasi, sehingga besar deviasi relatif terhadap setpoint menentukan intensitas keluaran.

Pada $E = 0$ dan $\Delta E = 0$, rule ZE-ZE menghasilkan keluaran holding sekitar 20%. Aksi ini dimaksudkan untuk mengompensasi kehilangan panas sehingga pengendali tidak langsung memutuskan seluruh energi saat tekanan tepat berada di setpoint. Dibandingkan logika on-off, karakteristik ini memberi transisi aksi yang lebih gradual. Namun, kesimpulan mengenai penurunan overshoot atau peningkatan settling time belum dapat dinyatakan sebelum time-series hardware FLC tersedia.

C. Integrasi Monitoring IoT dan Aspek Keselamatan

ESP8266 dan Arduino Cloud pada sistem sebelumnya dapat tetap digunakan untuk menampilkan tekanan, temperatur, setpoint, dan status heater [1], [6], [8]. Pada implementasi FLC, variabel E , ΔE , dan output COG juga disarankan dikirimkan ke dashboard agar perilaku pengendali dapat ditelusuri selama proses sterilisasi. Penyimpanan data ini penting untuk analisis pascaproses dan perbandingan langsung antara kontrol on-off dan FLC.

Solenoid valve tidak digunakan sebagai keluaran fuzzy utama karena pada desain awal berfungsi untuk pelepasan tekanan setelah proses sterilisasi selesai. Jalur keselamatan harus bersifat deterministik dan memiliki prioritas lebih tinggi daripada FLC. Apabila tekanan melampaui batas aman yang ditetapkan berdasarkan rating mekanik autoclave, heater harus dipaksa OFF dan mekanisme pelepas tekanan serta alarm diaktifkan. Dengan demikian, FLC mengatur kualitas regulasi tekanan tanpa menggantikan proteksi over-pressure.

D. Keterbatasan

Fungsi keanggotaan dan rule base dalam penelitian ini merupakan konfigurasi awal yang disusun berdasarkan arah respons sistem dan belum melalui tuning eksperimental pada plant autoclave. Karakteristik heater, volume chamber, kehilangan panas, interval sampling, dan sifat relay dapat memengaruhi parameter optimal FLC. Selain itu, validasi efektivitas sterilisasi secara mikrobiologis berada di luar ruang lingkup penelitian kontrol ini. Oleh karena itu, tahap selanjutnya harus meliputi implementasi program fuzzy pada hardware, perekaman time-series, pengulangan pengujian, serta perbandingan objektif dengan kontrol on-off.

Simpulan

Pengembangan sistem autoclave berbasis Arduino dan IoT menjadi Fuzzy Logic Control tipe Mamdani telah dirumuskan menggunakan normalized pressure error dan change of error sebagai masukan, serta duty cycle heater sebagai keluaran. Sebanyak 25 rule fuzzy digunakan dan nilai crisp diperoleh melalui Center of Gravity. Inferensi statis

pada rentang tekanan baseline menunjukkan bahwa aksi heater meningkat ketika tekanan berada di bawah setpoint dan menurun ketika tekanan melewati setpoint, sehingga struktur pengendali memberikan transisi yang lebih gradual dibandingkan aksi on-off biner. Meskipun demikian, peningkatan performa dinamis belum dapat diklaim karena data yang tersedia belum merupakan pengujian hardware FLC. Pengujian lanjutan harus mengukur overshoot, settling time, error steady-state, RMSE, IAE, jumlah switching, serta konsumsi energi pada setpoint 10, 15, dan 25 psi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas dukungan fasilitas dalam pengembangan sistem autoclave dan perangkat monitoring yang menjadi dasar penelitian ini.

References

1. M. Saickoni, A. H. Falah, I. Anshory, and A. Wisaksono, "Utilization of a pressure sensor as a pressure regulator in an autoclave machine for medical equipment sterilization and IoT-based monitoring," *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, vol. 7, no. 2, pp. 364–373, 2025.
2. Z. Arifin and R. Thalib, "Rancang bangun autoclave menggunakan sensor suhu DS18B20 dengan kontrol relay berbasis Arduino," *Jurnal Mutiara Elektromedik*, vol. 4, no. 1, pp. 18–22, 2020, doi: 10.51544/elektromedik.v4i1.3239.
3. N. Rahmita et al., "Efektivitas dan proses sterilisasi uap dalam farmasi," *Jurnal Ilmu Psikologi dan Kesehatan*, vol. 1, no. 4, pp. 209–212, 2025.
4. R. M. Putera, O. Kurdi, A. Suprihanto, S. A. Widyanto, and Y. Umardani, "Perancangan sistem monitoring tekanan pada fly ash system berbasis Internet of Things," *Rotasi*, vol. 23, no. 4, pp. 35–43, 2021.
5. H. Prasetyo, T. K. Wijaya, and M. Alagusri, "Perancangan prototype kontrol dan monitor level air pada mesin boiler berbasis IoT," *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 2, pp. 377–388, 2023, doi: 10.33373/sigmateknika.v6i2.5572.
6. S. K. Sawidin, M. D. Patabo, S. Tuwongkesong, A. P. Y. Waroh, T. M. Kereh, and J. J. Lapon, "Design and building of a room light control system based on IoT Arduino Cloud," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 227–233, 2024, doi: 10.37905/jjee.v6i2.26131.
7. N. Evalina, F. I. Pasaribu, A. A. H., and A. Sary, "Penggunaan Arduino Uno untuk mengatur temperatur pada oven," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 122–128, 2022, doi: 10.30596/rele.v4i2.9559.
8. M. Akbar, D. R. Ningtyas, and W. Wahyudi, "Rancang bangun kalibrator autoclave berbasis IoT dengan penyimpanan data," *Journal of Health Technology and Public Health*, vol. 1, no. 2, pp. 63–77, 2024.
9. Zainal, R. F. Rizal, and F. Yumono, "Prototype kontrol tekanan air menggunakan sensor pressure transducer untuk kerja pompa air berbasis Arduino," *Jurnal Zetroem*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.36526/ztr.v5i1.2561.
10. M. Imron and A. I. Sudrajat, "Prototype boiler untuk proses pemanasan sistem uap pada industri tahu berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 49, 2022, doi: 10.31000/jte.v6i1.7068.
11. L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
12. E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975, doi: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2.
13. C.-C. Chung, H.-H. Chen, and C.-H. Ting, "Fuzzy logic for accurate control of heating temperature and duration in canned food sterilisation," *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, vol. 9, no. 2, pp. 187–194, 2016, doi: 10.1016/j.eaef.2015.11.003.
14. Y. Bai, Z. Zhao, Z. Sun, and L. Quan, "A linear interpolation fuzzy controller for a boiler pressure control system," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 5, pp. 650–654, 2013, doi: 10.3182/20130410-3-CN-2034.00070.
15. D. Sain and B. M. Mohan, "Modeling, simulation and experimental realization of a new nonlinear fuzzy PID controller using Center of Gravity defuzzification," *ISA Transactions*, vol. 110, pp. 319–327, 2021, doi: 10.1016/j.isatra.2020.10.048.