

## Sistem Kontrol Suhu Pada Oven Pemanggang Menggunakan *Fuzzy logic*

Muhammad Hanan Syarif<sup>1\*</sup>, Paskalis Krisna Puspadewa<sup>1</sup>, Salsabila Miftah Rezkia<sup>1</sup>, Achmad Pratama Rifai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

✉ muhammad.h.s@mail.ugm.ac.id

### Abstrak

Industri roti semakin berkembang dengan pesat, dan penggunaan oven pemanggang roti yang tepat sangat penting untuk menghasilkan roti berkualitas. Penelitian ini mempertimbangkan penggunaan logika *fuzzy* untuk mengontrol suhu pemanggangan oven secara otomatis. Logika *fuzzy* memungkinkan pengaturan yang lebih fleksibel dan intuitif, berbeda dengan kontrol konvensional yang kaku.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat pengendalian suhu oven lebih efisien dan otomatis agar roti yang dihasilkan selalu konsisten. Hasilnya diharapkan dapat meningkatkan kualitas roti dan efisiensi produksi. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan jenis roti yang dipanggang sebagai faktor pengaturan. Penelitian ini penting dalam meningkatkan kualitas produksi roti dan dapat diterapkan secara praktis dalam industri roti.

Hasil uji coba awal menunjukkan bahwa perancangan *fuzzy logic* telah menghasilkan *output* sesuai dengan harapan, dengan fleksibilitas dalam mengganti aturan sesuai kebutuhan. Meskipun demikian, untuk memvalidasi keefektifan *fuzzy logic* ini, pengujian lebih lanjut pada sistem riil menggunakan oven asli diperlukan.

### Kata Kunci:

Otomasi; Oven Pemanggang; *Fuzzy logic*

### Abstract

*The bakery industry is rapidly growing, and the use of the precise bread toaster oven is crucial in producing quality bread. This research considers the use of fuzzy logic to automatically control the oven's baking temperature. Fuzzy logic allows for more flexible and intuitive adjustments, as opposed to rigid conventional controls.*

*The aim of this research is to make oven temperature control more efficient and automated to ensure consistent bread production. The expected outcome is an improvement in bread quality and production efficiency. Additionally, this research also takes into account the type of bread being toasted as a parameter for adjustment. This study is essential for enhancing bread production quality and can be practically applied in the bakery industry. Preliminary test results show that the fuzzy logic design has produced the expected outputs with the flexibility to adjust rules as needed. Nevertheless, to validate the effectiveness of fuzzy logic, further testing on a real system using an actual oven is required.*

### Keywords:

Otomation; Baking Oven; *Fuzzy logic*

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi terjadi di berbagai bidang salah satunya industri makanan terutama di industri roti. Salah satu perkembangan di bidang industri roti ada pada alat pemanggang roti atau oven. Salah satu faktor kritis dalam operasi oven adalah kontrol suhu yang tepat. Suhu yang tidak terkontrol dengan baik mengakibatkan roti tidak dapat mengembang dengan baik (Figoni 2011). Oven konvensional yang ada saat ini pada umumnya, kontrol suhu oven masih dilakukan secara manual yang diatur oleh pengguna.

Kontrol suhu oven yang sebelumnya dilakukan secara manual ini dapat ditambahkan sebuah sistem kontrol agar dapat bekerja secara otomatis. Salah satu penerapan sistem kontrol yang biasa digunakan adalah dengan menggunakan *fuzzy logic*. *Fuzzy logic* merupakan pendekatan matematika dengan bantuan komputer untuk membuat model dalam pengambilan keputusan berdasarkan masukan atau *input* yang tidak pasti atau samar. Berbeda dengan logika biner konvensional yang secara tegas menyatakan dengan nilai benar (1) atau salah (0), *fuzzy logic* mampu mempertimbangkan kondisi di antara benar dan salah tersebut. Implikasinya mampu memberikan keputusan yang tepat sesuai kondisi yang samar tersebut.

*Fuzzy logic* sudah diterapkan di berbagai bidang. Penggunaan *fuzzy logic* dapat digunakan untuk membantu menurunkan konsumsi bahan bakar hidrogen sebanyak 24,8% (Jin et al. 2023). Woźniak et al (2023) menunjukkan efisiensi dalam dehumidifikasi dengan biaya terendah. Penggunaan *fuzzy logic* juga digunakan pada bidang pertanian dan peternakan seperti grading atau klasifikasi pada buah apel (Kavdir and Guyer 2003), buah tomat (Nassiri, Tahavoor, dan Jafari, 2022), dan telur (Omid, Soltani, Dehrouyeh, Mohtasebi, dan Ahmadi, 2013). *Fuzzy logic* juga dapat digunakan untuk mengukur kualitas bahan baku makanan (Zareiforush, Minaei, Alizadeh, Banakar, dan Samani, 2016) dan makanan itu sendiri (Perrot dkk., 2006).

Penggunaan sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* dalam oven pemanggang menjadi sangat relevan dan penting. *Fuzzy logic* memungkinkan pengendalian suhu yang lebih adaptif, intuitif, dan dapat menyesuaikan dengan tahapan proses *baking*, variasi beban dan kondisi lingkungan, sehingga meningkatkan kualitas produk, efisiensi proses, dan mengurangi risiko kerusakan produk. Penelitian ini berfokus pada penerapan sistem kontrol *fuzzy logic* pada oven pemanggang pada proses pembuatan roti. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya, terdapat parameter tambahan sebagai *input* yaitu berupa jenis roti yang dipanggang.

## METODE

Secara umum, ada tiga tahap utama dalam proses pembuatan roti, ekspansi adonan, pengeringan permukaan, dan pembentukan kerak (*crust browning*). Ini dapat dibagi lagi menjadi enam tahap yaitu Formasi dan Ekspansi Gas (Stage\_1), *Killing of yeast* (Stage\_2), *Gelatinization* (Stage\_3), *Coagulation/denaturation* (Stage\_4), *Inactivation of enzymes* (Stage\_5), dan *Crust formation and browning* (Stage\_6).

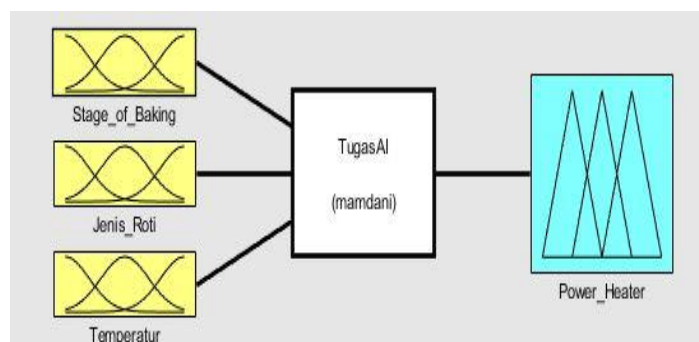
Range suhu pada tiap tahap yang lebih mendetail yang dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Detail Tahapan atau *Stage of Baking*

No	Membership Function	Roti Tawar	Roti Gandum
1	Stage_1	35°C – 70°C	
2	Stage_2	60°C – 70°C	
3	Stage_3	76°C	
4	Stage_4	60°C – 70°C	
5	Stage_5	80°C – 95°C	
6	Stage_6	200°C – 210°C	195°C – 205°C

Penelitian dilakukan dengan menggunakan program MATLAB versi 2022. Pembuatan desain kontroler *fuzzy* dimulai dengan proses pengubahan *crisp input* menjadi *input fuzzy* yang dinamakan *fuzzification*. Langkah selanjutnya adalah menerapkan rules pada *fuzzy input* dan mengevaluasi setiap rule dengan *input* yang dihasilkan dari proses *fuzzification* atau *fuzzifikasi* menjadi *fuzzy output* (Rule Evaluation). Tahap terakhir adalah mengubah *fuzzy output* menjadi *crisp output* yang dinamakan *defuzzification*.

Penelitian ini menggunakan 3 masukan yang terdiri dari *stage\_of\_baking*, *jenis\_roti*, dan temperatur. Ketiga *input* tersebut digunakan untuk mengendalikan *output* berupa on/off *Heater*. Kerangka *fuzzy logic* yang dibangun menggunakan MATLAB versi 2022 dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Kerangka *Fuzzy logic* Sistem Kendali Suhu Oven

**Sumber:** Dokumen Pribadi

Dengan data yang ada akan diolah menggunakan metode *fuzzy inference system* tipe Mamdani. Adapun tahapan dalam proses perhitungan tipe Mamdani:

### A. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses konversi nilai tegas (*crisp*) ke nilai kabur (*fuzzy*). Pada proses fuzzifikasi hal yang akan dilakukan yaitu memasukkan *input fuzzy*. Proses fuzzifikasi pada kasus ini mempunyai tiga data *input* yaitu variabel variabel tingkatan proses *baking*, variabel jenis roti dan variabel suhu oven. Sedangkan untuk keluaran mempunyai satu keluaran yang akan dikendalikan yaitu elemen pemanas (*Heater*).

**Tabel 2.** *Input Variables, Membership Function, dan Range of Membership*

<i>Input Variables</i>	<i>Membership Function</i>	<i>Range of Membership</i>
Stage_of_Baking	Stage_1	[0 0 1 1]
	Stage_2	[1 1.01 2 2]
	Stage_3	[1 2.01 3 3]
	Stage_4	[3 3.01 4 4]
	Stage_5	[4 4.01 5 5]
	Stage_6	[5 5.01 6 6]
Jenis_Roti	Roti_Tawar	[0 0 1 1]
	Roti_Gandum	[1 1.01 2 2]
Temperatur	Low	[0 0 125]
	Medium	[25 150 275]
	High	[175 300 300]

Tabel 2 menunjukkan nilai keanggotaan Jenis\_Roti sebagai roti tawar dan roti gandum. Jenis tahapan pembuatan roti dapat diklasifikasikan menjadi 6 jenis tahapan. Dan temperatur dapat diklasifikasikan menjadi Low, Medium dan High.

**B. Rule Evaluation**

*Rule Evaluation* adalah proses penerapan aturan *input fuzzy* kemudian mengevaluasi setiap aturan dengan *input* yang ada dihasilkan dari proses fuzzifikasi. Sebuah aturan dibuat untuk mengontrol variabel *output*. Aturan *fuzzy* adalah aturan IF-THEN dengan kondisi dan konklusi. Tabel 3 merupakan *rules* yang digunakan pada tahap *rule evaluation*.

**Tabel 3.** *Rules Evaluation*

<i>No</i>	<i>Stage_of_Baking</i>	<i>Jenis_Roti</i>	<i>Tempe-ratur</i>	<i>Power_Heater</i>
1	Stage_1	Both	Low	On
2	Stage_1	Both	Medium	Off
3	Stage_1	Both	High	Off
4	Stage_2	Both	Low	On
5	Stage_2	Both	Medium	Off
6	Stage_2	Both	High	Off
7	Stage_3	Both	Low	On
8	Stage_3	Both	Medium	Off
9	Stage_3	Both	High	Off
10	Stage_4	Both	Low	On
11	Stage_4	Both	Medium	Off
12	Stage_4	Both	High	Off
13	Stage_5	Both	Low	On
14	Stage_5	Both	Medium	On
15	Stage_5	Both	High	Off
16	Stage_6	Roti_Tawar	Low	On
17	Stage_6	Roti_Tawar	Medium	On
18	Stage_6	Roti_Tawar	High	Off

19	Stage_6	Roti_Gandum	Low	On
20	Stage_6	Roti_Gandum	Medium	On
21	Stage_6	Roti_Gandum	High	Off

Stage\_1 hingga Stage\_5 pada variabel *input* Stage\_of\_Baking memiliki suhu pemanggangan yang sama untuk kedua jenis roti. Oleh sebab itu, kata “Both” pada tabel 3 bisa memiliki arti *input* berupa Roti\_Tawar atau Roti\_Gandum. Hal ini digunakan sebagai bentuk efisiensi pembuatan *rules* karena memiliki *output* yang sama.

### C. Defuzzifikasi

*Input* pada proses defuzzifikasi berupa himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari kombinasi aturan-aturan *fuzzy*, dan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut, sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai keluarannya.

**Tabel 4.** *Output Variables, Membership Function, dan Range of Membership*

<i>Input Variables</i>	<i>Membership Function</i>	<i>Range of Membership</i>
Power_Heater	Off	[0 0 1 1]
	On	[1 1.01 2 2]

Tabel 4 menunjukkan nilai keanggotaan *Heater* sebagai *Off* dan *On*. Ketika *membership value On* aktif, maka *Heater* akan menyala dan apabila *membership value Off* aktif, maka *Heater* akan mati.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari perancangan *fuzzy logic* untuk kontrol oven yang telah dibuat perlu dilakukan uji coba. Uji coba pada penelitian ini dilakukan sebanyak 20 kali dengan nilai *membership value* dari setiap variabel *input* dipilih secara acak. Hasil uji coba dapat dilihat pada tabel 5.

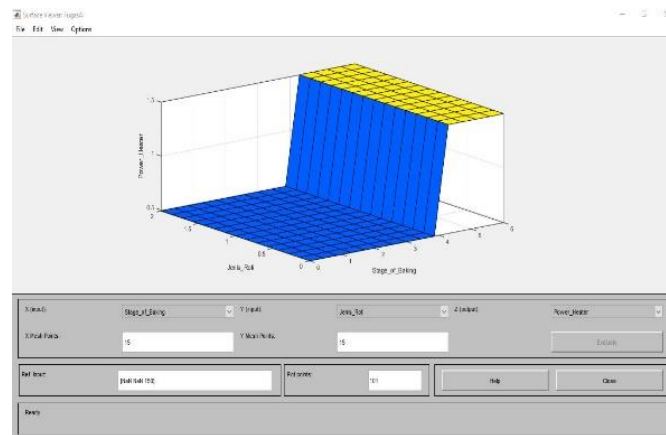
**Tabel 5.** Uji Coba

No	Stage_of_Baking	Jenis_Roti	Temperatur	Predict Output	Expected Output
1	2.54	1.18	128	0.50	Off
2	1.26	1.29	237	0.50	Off
3	5.70	0.58	6	1.51	On
4	1.00	1.00	136	0.50	Off
5	1.46	1.55	110	0.65	Off
6	1.21	0.97	98	0.77	Off
7	5.42	1.62	5	1.51	On
8	5.00	1.19	127	1.51	On
9	3.05	1.11	140	0.50	Off
10	3.14	1.36	82	0.93	Off
11	0.15	1.96	113	0.62	Off
12	3.91	1.46	78	0.97	Off
13	1.73	1.04	111	0.64	Off

14	4.48	0.60	20	1.51	On	On
15	4.52	0.91	234	0.91	Off	Off
16	3.22	1.94	27	1.49	On	On
17	3.72	1.01	259	0.50	Off	Off
18	5.89	0.24	118	1.51	On	On
19	4.26	1.70	113	1.51	On	On
20	3.64	1.37	249	0.50	Off	Off

Hasil yang didapatkan dari 20 uji coba yang dilakukan secara acak didapati hasil penggunaan *fuzzy logic* mampu menghasilkan *output* yang diharapkan. *Predict output* merupakan hasil keluaran uji coba menggunakan MATLAB. Sedangkan *expected output* merupakan hasil keluaran yang diharapkan berdasarkan *input* yang ada.

Adapun grafik *surface* yang menggambarkan nilai *input* setiap variabel beserta *output*-nya dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Kerangka *Fuzzy logic* Sistem Kendali Suhu Oven

**Sumber:** Dokumen Pribadi

## KESIMPULAN

Hasil uji coba dari perancangan *fuzzy logic* untuk otomasi pada sistem pengatur suhu oven berhasil menghasilkan *output* sesuai yang diharapkan. *Rules* yang sudah dibuat nantinya dapat diganti sesuai kebutuhan. Namun, perlu dilakukan pengujian pada sistem riil menggunakan oven asli untuk membuktikan apakah *fuzzy logic* yang dibuat mampu menghasilkan *output* sesuai *input* yang diberikan.

Pembuatan *fuzzy logic* ini diharapkan dapat membantu industri *bakery* dengan mempermudah pekerjaan dalam *setting* oven dan menghasilkan kualitas produk roti yang beragam. Selain itu, *fuzzy logic* ini mampu menjaga suhu oven sesuai kebutuhan dari pengguna. Diharapkan dengan mengendalikan *output* oven, diharapkan dapat menjaga suhu yang sesuai dengan *stage of baking* dan jenis rotinya dapat menghasilkan produk yang berkualitas dan beragam sesuai standar yang ditetapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

Figoni, P. (2011). The Importance of Controlling Oven Temperatures. Dalam *How Baking Works: Exploring the Fundamentals of Baking Science* (3 ed., hlm. 12–13). John & Wiley Sons, Inc.

- Jin, B., Zhang, L., Chen, Q., dan Fu, Z. (2023). Energy management strategy of *fuzzy* logic control for fuel cell truck. *Energy Reports*, 9, 247–255. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.058>
- Kavdir, I., dan Guyer, D. E. (2003). Apple Grading Using *Fuzzy* Logic. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(6), 375–382.
- Nassiri, S. M., Tahavoor, A., dan Jafari, A. (2022). *Fuzzy* logic classification of mature tomatoes based on physical properties fusion. *Information Processing in Agriculture*, 9(4), 547–555. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.09.001>
- Omid, M., Soltani, M., Dehrouyeh, M. H., Mohtasebi, S. S., dan Ahmadi, H. (2013). An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques. *Journal of Food Engineering*, 118(1), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.019>
- Perrot, N., Ioannou, I., Allais, I., Curt, C., Hossenlopp, J., dan Trystram, G. (2006). *Fuzzy* concepts applied to food product quality control: A review. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(9), 1145–1154. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.12.013>
- Woźniak, M., Szczotka, J., Sikora, A., dan Zielonka, A. (2023). *Fuzzy* logic type-2 intelligent moisture control system. *Expert Systems with Applications*, 238, 121581. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121581>
- Zareiforoush, H., Minaei, S., Alizadeh, M. R., Banakar, A., dan Samani, B. H. (2016). Design, development and performance evaluation of an automatic control system for rice whitening machine based on computer vision and *fuzzy* logic. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.024>