

Perancangan Perangkat Modular Kendali Suhu dan Aliran Gas Elpiji Berbasis Fuzzy Logic

Harsawardana*, Maria Ulfah, Bayu Samodro

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian – Institut Pertanian Stiper
Yogyakarta, Indonesia

*harsa.wardana@gmail.com

Abstract – Temperature is very significant in every stage in the heating processes and will affect the quality of the resulting product. The inaccuracy of temperature control causes the production process to change from time to time, in addition to the increasingly inconsistent quality of the resulting product. In this study, the use of a closed loop system based on fuzzy logic will be applied to control the temperature and flow of fuel. Temperature control is connected to gas flow control because this equipment is specifically for gas (LPG) fueled equipment. By the fuzzy logic system, it is expected to produce a control equipment that can control temperature accurately and can save fuel. This control equipment is modular in nature so that it can be applied to all bakery & cake oven equipment, coffee roasters, tea leaf wiping machines, fryers and other small scale industrial machines without having to change and modify the original design. The temperature settling point can be adjusted from 80°C to 300°C as desired in the heating process. The test results show that temperature control using fuzzy logic control system on coffee roasters and bread ovens obtains a maximum overshoot value which is still within the tolerance of 1.3% and fuel savings of around 13%.

Abstrak – Suhu atau temperatur sangat berpengaruh nyata dalam setiap tahap dalam proses pemanasan serta akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Ketidaktepatan kendali suhu mengakibatkan proses produksi yang berjalan menjadi berubah-ubah dari waktu ke waktu, disamping kualitas produk yang dihasilkan akan semakin tidak konsisten. Pada penelitian ini akan diterapkan penggunaan sistem loop tertutup berbasis fuzzy logic untuk mengendalikan suhu dan aliran bahan bakar. Kendali suhu tersambung pada kendali arus gas (besar kecil gas) karena perangkat ini dikhususkan untuk mesin berbahan bakar gas (elpiji). Dengan sistem fuzzy logic diharapkan dapat menghasilkan alat kendali yang dapat mengendalikan suhu yang tepat serta dapat menghemat bahan bakar. Alat kendali ini bersifat modular sehingga dapat diterapkan di semua peralatan oven roti & kue, mesin sangrai kopi, mesin pelayu daun teh, mesin penggoreng dan mesin industri kecil lainnya tanpa harus mengubah dan memodifikasi desain asalnya. Settling point suhu dapat diatur dari 80°C hingga 300°C sesuai yang diinginkan pada proses pemanasan. Hasil pengujian diperoleh bahwa pengendalian suhu menggunakan kendali fuzzy logic pada mesin sangrai kopi dan oven roti menghasilkan respon sistem dengan rise time dan settling time yang kecil serta nilai maksimum overshoot yang masih dalam batas toleransi yakni 1,5%.

Kata Kunci – control; fuel; fuzzy logic; modular; temperature.

I. PENDAHULUAN

SEBAGAI negara dengan kekuatan asal yang berasal dari hasil-hasil pertanian, peternakan, perikanan, mayoritas industri di Indonesia adalah industri makanan dan minuman, sehingga mesin-mesin teknologi tepat guna sebagian besar merupakan mesin pengolahan pangan. Oleh karena itu pada topik penelitian ini dipilih mesin teknologi tepat guna pengolahan pangan yang memerlukan pemanasan. Contoh dari mesin pengolahan pangan adalah : oven (segala jenis oven), mesin sangrai kopi, mesin penggoreng, mesin pelayu daun

teh, mesin pemanggang (grill), mesin pengering simplisia dan lain sebagainya. Suhu atau temperatur sangat berpengaruh nyata dalam setiap tahap dalam proses pemanasan serta akan mempengaruhi kualitas produk pangan yang dihasilkan [1]. Ketidaktepatan kendali suhu mengakibatkan proses produksi yang berjalan menjadi berubah-ubah dari waktu ke waktu, di samping kualitas produk yang dihasilkan akan semakin tidak konsisten [2].

Beberapa kendali suhu yang ada dipasaran kebanyakan berupa kendali suhu mekanik yang bekerja dengan sistem on-off berbasis bimetal, walaupun ada beberapa kendali suhu elektronik, tetapi masih dengan sistem on-off. Kendali suhu mekanis mempunyai kelemahan tidak dapat dipakai pada jangka waktu yang

Naskah diterima 02-05-2023, revisi 10-07-2023, terbit online 05-04-2024. Emitor merupakan Jurnal Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi dengan Sinta 3 beralamat di <https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/index>.

lama [3]. Seiring waktu penggunaan, maka akan terjadi kelelahan logam, sehingga lengkung bimetal tersebut menjadi melemah yang berakibat pengendalian suhu menjadi tidak tepat [4]. Kendali suhu yang ada saat ini, baik mekanis maupun elektronik tersebut mempunyai kelemahan belum dapat menghemat bahan bakar secara signifikan [5]. Untuk menghasilkan kendali suhu yang baik dan bisa mempertahankan kualitas produk maka diperlukan beberapa komponen kendali, seperti kendali aliran bahan bakar (gas elpiji) dan kendali suhu [6].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan pembuatan prototipeperangkat kendali suhu dan aliran gas elpiji pada mesin oven roti dengan sistem PID (proportional, integral, derivative) berbasis mikrokontroler ATmega16, dan memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan kendali suhu histerisis pada thermocontroller yang banyak beredar di pasaran [7]. Sejumlah studi telah mengeksplorasi penerapan logika fuzzy dalam sistem kendali suhu dan aliran gas. Yasin [8] dan Baloch [9] keduanya mengembangkan pengendali suhu berbasis logika fuzzy, dengan Yasin berfokus pada desain perangkat keras dan Baloch pada sistem tertutup. Shamshirb [10] dan Rangaswamy [11] memperluas ini ke kendali aliran gas, dengan Shamshirb menggunakan jaringan sensor nirkabel dan Rangaswamy menerapkan pengendali fuzzy pada pabrik turbin gas. Wang [12] dan Kim [13] keduanya menggabungkan logika fuzzy dengan pengendali PID untuk pemanas air gas dan pabrik turbin gas, masing-masing. Montazeri-Gh [14] secara khusus merancang pengendali logika fuzzy untuk sistem kontrol bahan bakar mesin turbin gas. Studi-studi ini secara kolektif menunjukkan potensi logika fuzzy dalam desain perangkat modular untuk mengendalikan suhu dan aliran gas Elpiji. Tetapi kendali dengan sistem PID terdapat kelambatan dan rumit sebab penentuan konstantanya dilakukan secara trial and error. Selain itu perubahan salah satu konstanta akan berpengaruh terhadap parameter yang lain [15].

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat perangkat kendali digital untuk mesin-mesin pengolahan pangan yang bersifat modular, maksudnya dapat diinstal pada mesin teknologi tepat guna tanpa perlu mengubah desain mesin keseluruhan. Modul ini dapat dipasang atau dilepas, tanpa mengganggu fungsionalitas mesin, artinya jika terjadi kerusakan pada modul kendali dapat dicopot dan mesin masih dapat berjalan secara manual. Fungsi dasar perangkat ini adalah mengontrol parameter suhu dan aliran gas selama proses produksi di jalankan menggunakan mesin tersebut, dengan sistem digital [16].

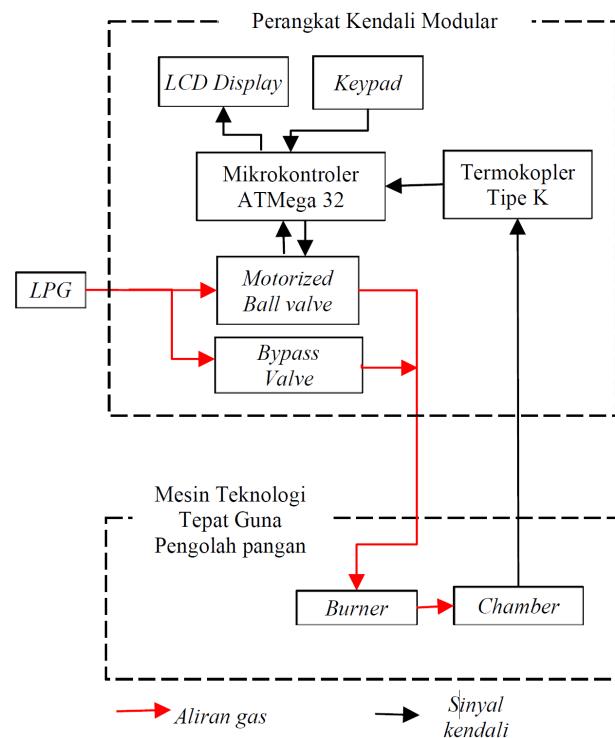
Sistem kendali fuzzy logic akan diterapkan pada proses kendali ikal tertutup (closed loop). Kelebihan dari fuzzy logic controller salah satunya adalah tidak

diperlukannya model matematis dari plant yang akan dikendalikan [17]. Mekanisme pengambilan keputusan ditanamkan pada pengendali sebagai aturan dasar ketika pengendalian berlangsung [18, 19]. Diharapkan dengan sistem fuzzy logic dapat menghasilkan respon yang ideal dengan rise time dan settling time yang kecil serta nilai maksimum overshoot yang masih dalam batas toleransi [15]. Dengan demikian, kestabilan suhu dapat tercapai dengan baik sesuai dengan setpoint yang diinginkan sehingga dapat menjaga mutu produk dan penghematan gas.

II. METODE PENELITIAN

i. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan skema diagram perangkat keras sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penjela-



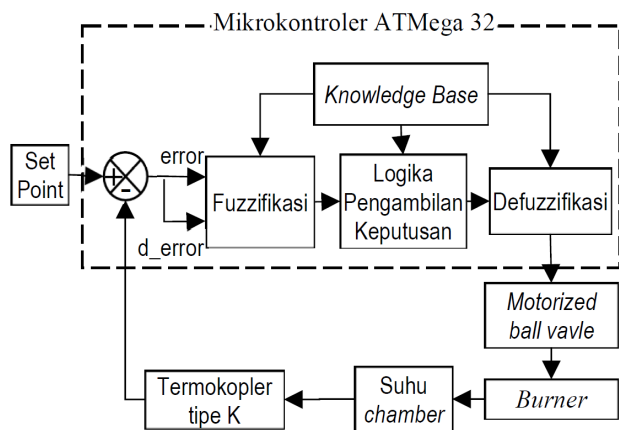
Gambar 1: Skema diagram perangkat keras kendali modular

san dari masing-masing blok perangkat kendali modular pada gambar 1 adalah sebagai berikut, Mikrokontroler Atmega32 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem kendali suhu dan aliran gas elpiji. Pada mikrokontroler ini ditanamkan sistem fuzzy logic dengan pemrograman bahasa C AVR. Keypad berfungsi sebagai masukan untuk mengatur set point suhu dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian. LCD (*Lyquid Crystal Display*) digunakan sebagai media tampilan suhu set point dan suhu sistem selama proses berlangsung, Sensor suhu berupa termokopler

tipe K yang mempunyai rentang suhu -200°C hingga $+1200^{\circ}\text{C}$. untuk mendeteksi perubahan suhu. Motorized Ball valve merupakan ball valve (katup) untuk mengatur aliran bahan bakar gas yang tergendeng dengan motor servo posisi. Katup ini mempunyai sudut bukaan antar 0° – 330° . Bypass valve(katup pintasan) digunakan untuk menjaga api tetap menyala kecil (disetel dengan bukaan sekecil mungkin) apabila motorized Ball valve ke posisi 0° selama proses berlangsung. Katup ini juga digunakan secara manual apabila ada kegagalan sistem atau catu daya terputussecara tiba-tiba.

ii. Perancangan Sistem Kendali Fuzzy Logic

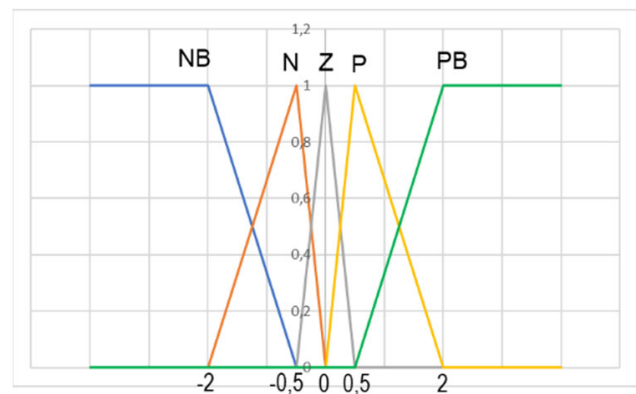
Model dari sistem kendali fuzzy logic perangkat modul digambarkan dengan diagram blok sebagai berikut: Secara umum masukan dari pengendali fuzzy logic ada-



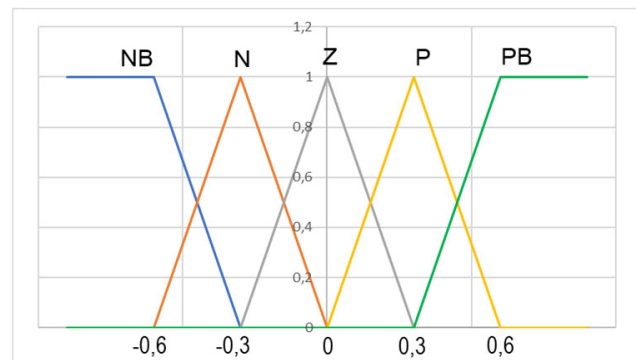
Gambar 2: Diagram model matematis dari sistem kendali fuzzy logic perangkat modular

lah error dan d_error sedangkan keluarannya adalah berupa sinyal kendali dengan jangkauan bit 00 – FF (mikrokontroler 8 bit). Error pada perangkat ini adalah perbedaan suhu chamber dan set point, sedangkan d_error merupakan selisih error sekarang dengan error sebelumnya [2,20]. Fuzzifikasi merupakan suatu proses perubahan himpunan non-fuzzy (crisp) kedalam himpunan fuzzy, masukan bukan fuzzy (crisp) dipetakan ke bentuk himpunan fuzzy sesuai dengan variasi semesta pembicaraan masukan. Fungsi keanggotaan (Membership Function) adalah komponen penting. Pada sistem ini digunakan dua fungsi keanggotaan yaitu error dan d_error dan satu fungsi keanggotaan keluaran. Fungsi keanggotaan error dinyatakan sebagai Negative Big (NB), Negatif N, Zero (M), Positive (P), dan Positive Big (PB) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

Sedangkan fungsi keanggotaan d_error dinyatakan sebagai Negative Big (NB), Negatif N, Zero (M), Positive (P), dan Positive Big (PB) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Fungsi keanggotaan keluaran yang



Gambar 3: Fungsi keanggotaan error



Gambar 4: Fungsi keanggotaan d_error

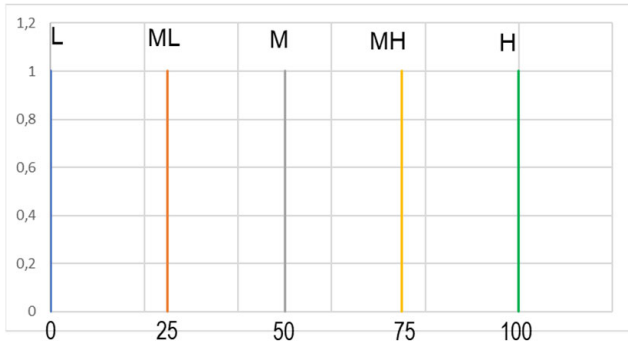
terdiri atas lima label yang diubah dari variable linguistik kedalam variable crisp. Variable output (Bukaan Rotary valve (%)) yang dimaksudkan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Tabel Output

No	Label	Output	Sinyal kendali
1	L	0	FF – D5
2	ML	25	D4 – AB
3	M	50	AA – 80
4	MH	75	7F – 55
5	H	100	54 – 00

Fungsi keanggotaan untuk motorized ball valve dengan sudut bukaan 0% sampai 100% . Fungsi keanggotaan output dinyatakan Low (L), Medium Low (ML), Medium (M), Medium High (MH), dan High (H) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Knowledge base dan pengambilan keputusan terdiri dari dua masukan dan satu keluaran. Eksekusi aturan diproses menggunakan model inferensi min-max Mamdani. Inferensi min-max diperoleh dari perbandingan antara nilai derajat keanggotaan error dan delta error. Selanjutnya, hasil dari perbandingan diambil nilai min dari derajat anggota keduanya. Perhitungan inferensi min-max pada sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 5: Fungsi keanggotaan himpunan keluaran fuzzy

Persamaan-persamaan yang diberikan adalah:

$$\text{error}(t) = \text{SP}(t) - \text{PV}(t) \tag{1}$$

$$d_error(t) = \text{error}(t) - \text{error}(t - 1) \tag{2}$$

dengan keterangan sebagai berikut:

- $\text{error}(t)$ adalah kesalahan pada saat t detik.
- $\text{SP}(t)$ adalah nilai yang ingin dicapai.
- $\text{PV}(t)$ adalah nilai saat ini.
- d_error adalah simpangan error saat t detik dan t sebelumnya.
- $\text{error}(t - 1)$ adalah kesalahan sebelum t detik.

Tabel 2: Aturan fuzzy dengan keluaran sinyal kendali

error	NB	N	Z	P	PB
d_error					
NB	M	MH	H	ML	M
N	H	L	ML	MH	L
Z	L	M	L	L	M
P	L	M	L	L	M
PB	L	M	L	L	M

Hasil defuzzifikasi inilah yang nantinya akan digunakan untuk mengatur sinyal kendali untuk mengendalikan motor servo pada motorized ballvalve. Untuk mendapatkan nilai crisp output dari himpunan fuzzy ini digunakan metode rata-rata berbobot (Center average defuzzifier) yang dapat dirumuskan sebagai berikut dengan z_x adalah output:

$$z_x = \frac{\sum z_j x \cdot \mu(z_j x)}{\sum \mu(z_j x)} \tag{3}$$

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Pengujian perangkat modular ini dilakukan dengan menggandengkan dengan mesin sangrai (roaster) kopi dengan kapasitas maksimum 3kg, dan membandingkan dengan kendali histerisis thermocontroller bawaan asli mesin sangrai tersebut. Bypass valve pada posisi

ditutup, pengambilan data waktu dan suhu melalui data logger RTCDS3231 yang tersimpan dalam SD Card (data dalam file berekstensi .csv). Parameter yang diuji meliputi respon waktu naik/rising time (T_r), settling time (T_s), dan overshoot. Nilai overshoot dapat dinyatakan dalam % dengan menghitung melalui persamaan berikut:

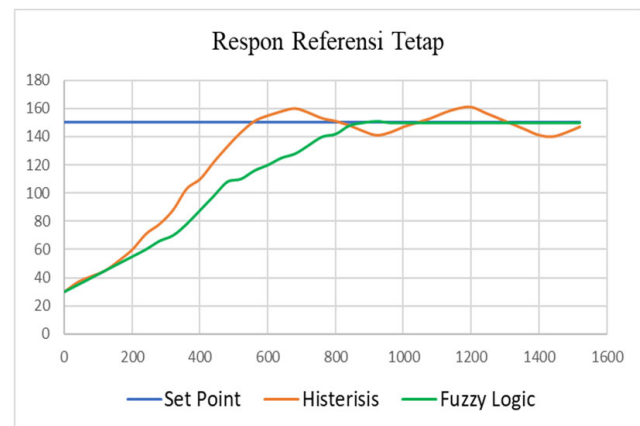
$$\%OS = \frac{C_{\max} - C_{\text{reff}}}{C_{\text{reff}}} \times 100\% \tag{4}$$

dengan keterangan sebagai berikut:

- $\%OS$ adalah persentase overshoot, yaitu seberapa jauh nilai puncak melebihi nilai referensi, diukur sebagai persentase dari nilai referensi.
- C_{\max} adalah Nilai puncak maksimum yang dicapai oleh sistem.
- C_{reff} adalah Nilai referensi atau set point yang diinginkan untuk sistem.

i. Pengujian dengan referensi tetap

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan set point 150 pada mesin sangrai tanpa beban (tanpa ada biji kopi yang disangrai). Suhu awal chamber dibuat sama yaitu 30°C

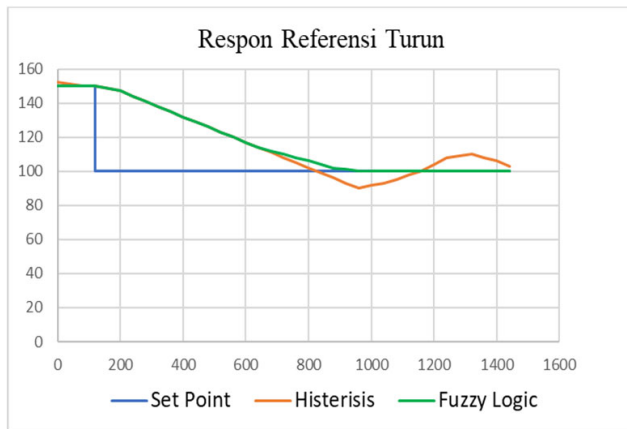


Gambar 6: Respon sistem terhadap referensi tetap

Respon sistem fuzzy logic pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan waktu naik (T_r) sebesar 877 detik dan settling time (T_s) sebesar 867 detik. Pada respon sistem ini terdapat overshoot sebesar 2°C atau 1,33%, sedangkan pada sistem histerisis waktu naik dicapai dalam waktu 560 detik dengan overshoot sebesar 13°C atau 8,67%. Sistem histerisis tidak mempunyai settling time, karena sistem berosilasi.

ii. Pengujian dengan referensi turun

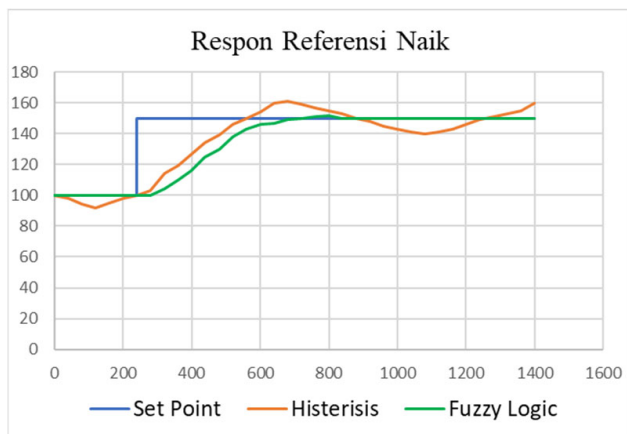
Dari suhu awal saat set point 150°C pada pengujian referensi tetap, kemudian set point diturunkan menjadi 100°C sistem fuzzy logic menghasilkan waktu naik



Gambar 7: Respon sistem terhadap referensi turun

(T_r) sebesar 710 detik, dan T_s sebesar 710 detik, tidak terdapat overshoot. Sedangkan pada sistem histerisis menghasilkan waktu naik (T_r) sebesar 680 detik dan overshoot sebesar 11°C atau 11%.

iii. Pengujian dengan referensi naik

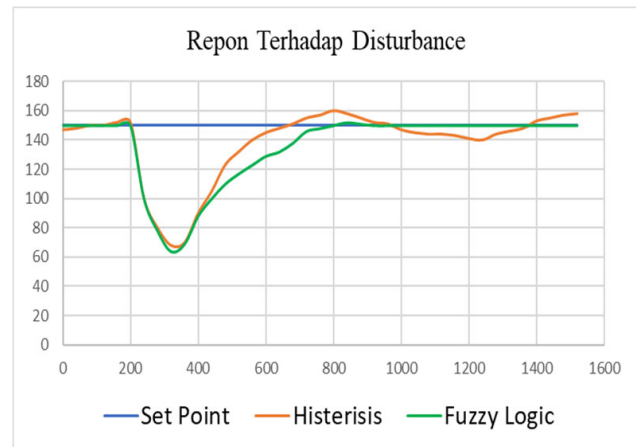


Gambar 8: Respon sistem terhadap referensi naik

Dari suhu awal saat set point 150°C kemudian set point dinaikkan menjadi 150°C , sistem fuzzy logic menghasilkan waktu naik (T_r) sebesar 508 detik, dan T_s sebesar 819 detik, dengan overshoot 2°C atau 1,33%. Sedangkan pada sistem histerisis menghasilkan waktu naik (T_r) sebesar 340 detik dan overshoot sebesar 12°C atau 8%.

iv. Pengujian dengan disturbance (gangguan)

Gangguan dalam sistem ini adalah saat loading (memasukkan) biji kopi ke dalam chamber pada set point tertentu sesuai tingkat suhu sangraian (roasting) yang diinginkan. Dalam percobaan ini suhu sangrai disetel pada set point 150°C , setelah suhu sangrai tercapai maka dimasukkan 1 kg biji kopi mentah (green bean coffee)



Gambar 9: Respon sistem terhadap gangguan

Setelah sistem diberikan gangguan, suhu sistem fuzzy logic mengalami penurunan menjadi $67,3^\circ\text{C}$, untuk mencapai set point untuk kembali mencapai set point memerlukan waktu naik (T_r) 563 detik dan settling time / stabil (T_s) 681 detik, terdapat overshoot sebesar $1,7^\circ\text{C}$ (1,13%). Sedangkan pada sistem histerisis setelah diberi gangguan mengalami penurunan menjadi $68,8^\circ\text{C}$ dengan waktu naik (T_r) 488 detik dengan overshoot sebesar $10,9^\circ\text{C}$ (7,27%).

v. Pengujian proses penyangraian (roasting) kopi

Pengujian ini dengan menyangrai 1 kg biji kopi menggunakan mesin sangrai kopi kapasitas 3 kg dengan burner infra red, untuk mengetahui waktu seluruh proses penyangraian biji kopi. Waktu dimulai dan dicatat dari proses heating (pemanasan) dengan tingkat sangrai light pada suhu sangrai 180°C , cracking (ditandai dengan bunyi retakan biji kopi) pertama, cracking kedua, hingga penyangraian selesai. Gas elpiji menggunakan tabung gas 12kg dan diletakkan pada timbangan digital kapasitas 50 kg dengan akurasi hingga 0,1 gram, untuk mengetahui konsumsi total gas elpiji. Dalam Tabel 3 dengan tanda * adalah loading biji kopi, ** untuk cracking pertama, dan *** adalah bagi cracking kedua. Pada sistem fuzzy logic waktu naik untuk heating lebih lama daripada sistem histerisis. Waktu naik (T_r) dari loading ke set point pada sistem fuzzy logic juga lebih lama daripada sistem histerisis. Tetapi jarak waktu cracking pertama dan kedua pada kedua sistem tersebut cenderung sama. Penggunaan bahan bakar untuk sistem histerisis 337,4 gram, sedangkan pada fuzzy logic 291,6 gram lebih hemat 45,8 gram atau terjadi penghematan 13,58%.

vi. Pengujian dengan pengovenan roti

Pengujian ini dilakukan dengan mengandeng peralatan modular ke mesin oven roti berdimensi 70cm, le-

Tabel 3: Suhu dan pemakaian elpiji dalam proses penyangraian biji kopi

Waktu (menit)	Suhu (OC)		Berat elpiji (gram)	
	Histerisis	Fuzzy Logic	Histerisis	Fuzzy Logic
0	30	30	18753,2	18327,4
2	55	56	18742,5	18318,5
4	99	101	18730,9	18309,5
6	122	121	18719,2	18300,6
8	149	147	18707,5	18291,7
10	165	159	18695,8	18282,7
12	180	168	18684,2	18273,8
14	73*	179	18672,5	18264,9
16	80	180	18660,8	18255,9
18	99	71*	18649,2	18247,0
20	118	80	18637,5	18238,1
22	139	98	18625,8	18229,1
24	157	128	18614,2	18220,2
26	171	149	18602,5	18211,3
28	181	161	18590,8	18202,3
30	175	175	18579,1	18193,4
32	185	180	18567,5	18184,5
34	179	180	18555,8	18175,5
36	188	180	18544,1	18166,6
38	180**	180	18532,5	18157,7
40	185	179	18520,8	18148,7
42	178	180	18509,1	18139,8
44	182	180	18497,5	18130,9
46	190	181	18485,8	18121,9
48	184	180	18474,1	18113,0
50	176	180**	18462,4	18104,1
52	182***	180	18450,8	18095,1
54	189	180	18439,1	18086,2
56	181	181	18427,4	18077,3
58	177	179	18415,8	18068,3
60		180***		18059,4
62		180		18050,5
64		180		18041,5
66		182		18032,6
68		180		18023,7

Tabel 4: Suhu dan pemakaian elpiji dalam proses pemanggangan roti

Waktu (menit)	Suhu (oC)		Berat elpiji (gram)	
	Histerisis	Fuzzy Logic	Histerisis	Fuzzy Logic
0	30	30	18003,5	17603,7
1	41	40	17992,8	17594,3
2	55	56	17981,2	17584,9
3	79	81	17969,5	17575,5
4	99	103	17957,8	17566,1
5	119	119	17946,1	17556,6
6	135	137	17934,5	17547,2
7	152	149	17922,8	17537,8
8	169	157	17911,1	17528,4
9	179	169	17899,5	17519,0
10	186	175	17887,8	17509,6
11	161*	178	17876,1	17500,2
12	157	182	17864,5	17490,8
13	171	167*	17852,8	17481,3
14	180	155	17841,1	17471,9
15	185	163	17829,4	17462,5
16	190	175	17817,8	17453,1
17	187	178	17806,1	17443,7
18	185	180	17794,4	17434,3
19	183	180	17782,8	17424,9
20	180	179	17771,1	17415,5
21	178	180	17759,4	17406,0
22	175	180	17747,8	17396,6
23	171	181	17736,1	17387,2
24	173	180	17724,4	17377,8
25	176	181	17712,7	17368,4
26	180	181	17701,1	17359,0
27	183	180	17689,4	17349,6
28	186	181	17677,7	17340,2
29	188	180	17666,1	17330,7
30	188	182	17654,4	17321,3
31	188	181	17642,7	17311,9
32		180		17302,5
33		180		17293,1

bar 100cm, tinggi 47cm dengan tipe burner suling dan menggunakan bimetal histerisis sebagai perangkat kendali suhunya, untuk memanggang 800 gram (20 buah) roti bun Bypass valve disetel pada bukaan minimum, untuk menjaga api tetap menyala jika ada gangguan sistem dan catu daya. Dalam Tabel 4 dengan tanda * adalah untuk loading (buka pintu dan memasukkan tray roti). Sama halnya dengan mesin sangrai kopi, di pemanggangan roti ini pada sistem fuzzy logic waktu naik untuk heating juga lebih lama daripada sistem histerisis. Waktu naik (T_r) dari loading ke set point pada sistem fuzzy logic juga lebih lama daripada sistem histerisis. Penggunaan bahan bakar untuk sistem histerisis 360,8 gram, sedangkan pada fuzzy logic 310,6 gram lebih hemat 50,2 gram atau terjadi penghematan 13,9%.

IV. KESIMPULAN

Nilai overshoot yang didapatkan pada beberapa pengujian, yaitu pada pengujian dengan referensi tetap, refe-

rensi naik, dan pengujian dengan gangguan masih berada dalam batas toleransi yaitu rata-rata sebesar $\pm 1,5\%$. Dibandingkan dengan sistem histerisis, sistem fuzzy logic mempunyai akurasi yang cukup tinggi sehingga layak untuk diaplikasikan sebagai perangkat kendali mesin pengolah pangan. Sistem fuzzy logic pada percobaan ini mempunyai kelemahan waktu naik/rising time yang lebih lama daripada sistem histerisis, sehingga waktu proses berjalan lebih lama. Meskipun begitu, pada percobaan menyangrai biji kopi dan pemanggangan roti, terdapat penghematan bahan bakar gas sekitar 13% dibanding dengan sistem histerisis. Penghematan sebesar itu cukup signifikan bagi pelaku usaha kecil pangan. Hasil warna pada kopi sangraian juga lebih terang pada sistem fuzzy logic atau sesuai dengan warna yang diinginkan. Untuk mengatasi kelambatan waktu naik (rising time) dan waktu stabil (settling time) lebih lanjut dikembangkan sistem gabungan PID (proportional, integral, derivative), dengan autotuning (tuning otomatis) berbasis fuzzy logic

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih atas dukungan dana dan fasilitas kegiatan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Riset dan Teknologi, Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi; Lembaga Layanan Dikti V; LPPM Institut Pertanian Stiper; Dirjen Industri Kecil Menengah dan Aneka, Kementerian Perindustrian; Sentra Industri Kecil Roti dan Kue Desa Jonggrangan Kabupaten Klaten, dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. M. Astuti, "Pengaruh penggunaan suhu pengovenan terhadap kualitas roti manis dilihat dari aspek warna kulit, rasa, aroma dan tekstur," *Teknoboga*, vol. 2, no. 2, pp. 61–78, 2015.
- [2] E. J. P. *et al.*, "Sistem pengendali pemanas pemanggang kopi menggunakan logika fuzzy," *INKOM*, vol. 10, no. 2, 2016.
- [3] H. Zhang and D. Liu, *Fuzzy Modelling and Fuzzy Control*. Boston, USA: Birkhauser, 2006.
- [4] G. J. Klir, *Fuzzy Logic And Fuzzy Set System and Application*. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1994.
- [5] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [6] R. Kurniawan, W. Kurniawan, and R. Maulana, "Prototype rancang bangun sistem cerdas pengatur otomatis suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara pada greenhouse menggunakan metode fuzzy logic," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informatika dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 8, pp. 7981–7989, 2019.
- [7] R. Aguilar *et al.*, *Control Application Using Fuzzy Logic: Design of a Fuzzy Temperature Controller*. Intechopen, 2012.
- [8] F. Yasin, A. Tio, M. Islam, M. Reaz, and M. Sulaiman, "The hardware design of temperature controller based on fuzzy logic for industrial application employing FPGA," in *Proceedings. The 16th International Conference on Microelectronics, 2004. ICM 2004*. IEEE. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICM.2004.1434232>
- [9] M. A. Baloch, N. Saad, I. Ismail, T. M. Baloch, and N. H. H. b. M. Hanif, "Design and Analysis of Pi-Fuzzy Controller for Temperature Control System," in *2010 Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation*. IEEE, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/AMS.2010.82>
- [10] Shahabuddin Shamshirb, S. Kalantari, and Zeinab Bakhsh, "Designing a smart multi-agent system based on fuzzy logic to improve the gas consumption pattern," 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2006.372513>
- [11] T. Rangaswamy, J. Shanmugam, and T. Thyagarajan, "Fuzzy Controller for a Gas Turbine Plant," in *2006 IEEE International Conference on Industrial Technology*. IEEE, 2006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2006.372513>
- [12] L. Wang, H. Zang, and Y. Ning, "The gas water heater control system design based on fuzzy control," in *2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering*. IEEE, 4 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICEICE.2011.5778171>
- [13] Jong-Wook Kim and Sang Woo Kim, "Design of incremental fuzzy PI controllers for a gas-turbine plant," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 8, no. 3, pp. 410–414, 9 2003. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2003.816858>
- [14] M. Montazeri-Gh and A. Safari, "Design of Gas Turbine Engine Fuel Control System Using Fuzzy Logic," 2007. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17311099>
- [15] S. Romadhan, B. Setiyono, and Sumardi, "Menggunakan kontrol fuzzy untuk pengaturan suhu cairan berbasis atmega16," *Transient*, vol. 3, no. 4, pp. 617–621, 2014.
- [16] A. Setiawan, N. Zakaria, M. Agani, and S. Akhmad, "Perancangan pembangkit listrik termoelektrik pada proses refrigerasi air conditioner dengan metode fuzzy logic," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2021.
- [17] K. Sugiarto, S. Adhisuwignjo, and D. Dewatama, "Penerapan fuzzy logic control untuk sistem pengaturan kelembaban udara pada greenhouse," *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, vol. 2, no. 2, pp. 71–76, 2022.
- [18] S. B. Utomo, M. A. P.N, and Sumardi, "Perancangan sistem pengaturan suhu pada mesin sangrai kopi berbasis logika fuzzy," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 107–110, 2015.
- [19] F. Wahab, S. Sumardiono, A. R. Al Tahtawi, and A. F. A. Mulayari, "Desain dan purwarupa fuzzy logic control untuk pengendalian suhu ruangan," *Jurnal Teknologi Rekayasa*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [20] J. Yan, M. Ryan, and J. Power, *Using Fuzzy Logic*. UK: Prentice Hall International Limited, 1994.