

PERANCANGAN SISTEM PENGATURAN SUHU CAIRAN DENGAN METODE KONTROL FUZZY PADA DISPENSER KOPI INSTAN OTOMATIS

Yusuf^{*}), Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: ucup1449@gmail.com

Abstrak

Industri kopi yang semakin berkembang, maka semakin banyak juga teknologi yang dipakai didalamnya. Sudah banyak digunakan berbagai mesin kopi dari yang manual sampai full automatic. Pada mesin kopi automatic yang biasa dijumpai di minimarket masih menggunakan sistem kontrol konvensional sehingga masih memakan banyak waktu dalam prosesnya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pada mesin kopi otomatis untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Pada penelitian ini merancang sebuah sistem kontrol suhu pada dispenser kopi instan otomatis menggunakan kontrol fuzzy yang dapat menghasilkan respon sistem untuk memenuhi kriteria performansi yang diinginkan. Sistem ini menggunakan dua buah heater masing-masing untuk kopi dan creamer. Proses pengontrolan heater menggunakan modul dimmer yang didalamnya terdapat rangkaian pengendali tegangan AC yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan pada masing-masing pemanas. Alat dispenser kopi instan otomatis juga dapat memproses otomatisasi level menggunakan ball valve. Pengujian sistem pemanas menggunakan kontrol fuzzy yang diberi setpoint berbeda. Setelah dilakukan pengujian, respon sistem yang menghasilkan nilai waktu stabil terkecil adalah sistem yang menggunakan kontrol fuzzy dengan suhu 80°C. Sistem ini dapat memanaskan kopi dan creamer pada suhu awal 30°C dan suhu akhir 80°C. Waktu stabil pada respon sistem ini adalah 514,3 detik. Error pada respon sistem ini adalah 2,2°C suhu akhir.

Kata kunci: Mesin Kopi, Pemanasan, Kontrol Fuzzy

Abstract

Coffee industry is growing, then more the technology used in it. It is widely used in various coffee. In automatic coffee machines that are commonly found in the mini still uses conventional control systems that still takes a lot of time in the process. Therefore, we need a system of automatic coffee machines to get optimal results. The aim of the study is to design dispenser temperature control system uses fuzzy control that can generate a system response to meet the desired performance. The system is using 2 heaters for the coffee and creamer. The process of controlling the heater module is using dimmers that control AC voltage which serves on each heater. The dispenser of instant automatic coffee machine can process automation level using a ball valve. The testing used for the heating system is fuzzy control with different setpoints. After testing, the system of the response that generates the smallest time stabled is system using 80°C temperature. The system can heat up at initial temperature 30°C and the final temperature is 80°C. The stable time of the response system is 514,3 seconds for the final temperature. The error found in the response system is 2,2°C in final temperature.

Keywords: Coffee Machine, Heating, Fuzzy Control

1. Pendahuluan

Kopi merupakan jenis tanaman yang bijinya dapat diolah menjadi minuman dengan cara dipanggang atau bakar terlebih dahulu, minuman ini dapat disajikan dingin maupun panas [1]. Industri kopi semakin berkembang, semakin banyak teknologi didalamnya, yang semula hanya biji kopi yang ditumbuk lalu diseduh. Sekarang sudah

terdapat berbagai mesin kopi untuk memudahkan konsumen menikmatinya. Terdapat beberapa jenis mesin kopi yang ada. Seperti mesin *automatic*, ada juga yang menyebut mesin ini dengan istilah mesin *pod coffee*. Lalu mesin *espresso semi-automatic* bisa memungkinkan penggunaannya untuk menakar kopi yang mereka buat dalam takaran yang tepat. Ada juga mesin *manual*, menawarkan kendali penuh kepada penggunaannya dalam membuat kopi.

Selanjutnya mesin komersial atau professional, mesin ini ditujukan untuk penggunaan yang lebih kompleks dan ditujukan untuk pemakaian yang lebih *technical* [2]. Lalu yang banyak digunakan sekarang ini mesin kopi *instant*, merupakan mesin kopi yang dirancang dengan ukuran mini untuk membuat kopi instan secara otomatis, mudah dan cepat [3]. Mesin ini dapat menghasilkan beberapa macam jenis menu kopi yang berbeda sesuai yang diinginkan. Pada mesin kopi automatic yang biasa dijumpai di minimarket masih menggunakan sistem kontrol konvensional sehingga masih memakan banyak waktu dalam prosesnya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pada mesin kopi automatic untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Sistem kontrol pemanas rotesi petir eksternal (*external lightning protection*) digunakan pada *automatic coffee instant dispenser* untuk mengoptimalkan waktu dalam proses pemanasan. Perancangan sistem kontrol ini dilakukan dengan menggunakan metode kontrol *fuzzy*.

2. Metode

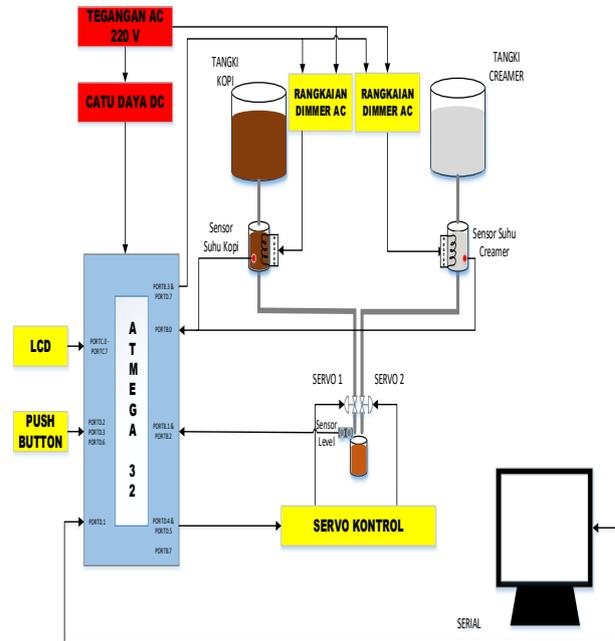
2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penjelasan dari masing-masing blok *automatic coffee instant dispenser* pada Gambar 1 adalah sebagai berikut :

1. Mikrokontroler Atmega32 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengaturan suhu cairan ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C embedded.
2. Push Button berfungsi sebagai masukan untuk mengatur set point level dari kedua jenis cairan dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
3. LCD (Lyquid Crystal Display) digunakan sebagai media tampilan (display) selama proses pengendalian berlangsung
4. Sensor suhu DS18B20 merupakan sensor yang akan mendeteksi suhu pada storage. Keluaran sensor ini berupa tegangan digital.
5. Sensor jarak HC-SR04 difungsikan sebagai sensor level yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian cairan pada gelas.
6. Motor servo sebagai aktuator yang digunakan untuk membuka dan menutup ball valve.
7. Heater (Pemanas cairan) dengan daya 300 watt dengan sumber tegangan ac (bolak-balik) yang berfungsi sebagai aktuator.
8. Rangkaian pengendali tegangan AC merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan beban dengan memberi waktu tunda pemucian triac. Komponen utama pengatur tegangan AC berupa triac dan optoisolator MOC3041 dimana didalamnya terdapat rangkaian zero crossing detector untuk mendeteksi gelombang sinus tegangan jala-jala AC 220 V ketika melalui persimpangan titik nol.

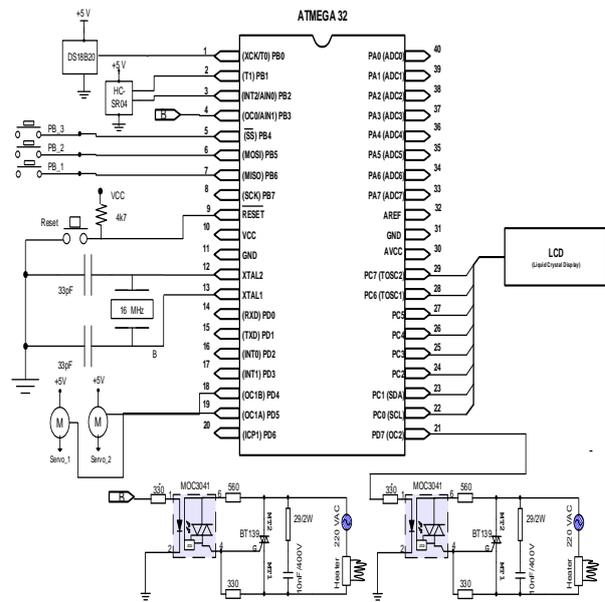
9. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem secara keseluruhan.

10. PC (Personal Computer).



Gambar 1. Blok Diagram Perancangan Sistem Automatic Coffe Instant Dispenser

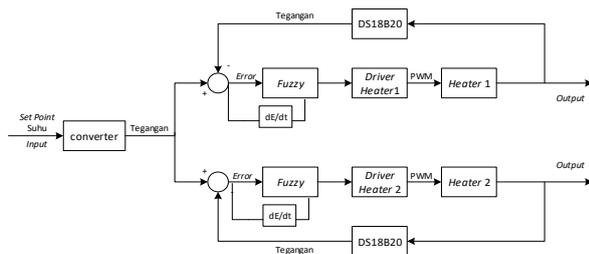
Adapaun alokasi penggunaan port pada rangkaian ATmega32 dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Skematik perancangan perangkat keras

2.2. Perancangan Pengendali Fuzzy

Dalam penelitian perancangan sistem kontrol keseimbangan pada *automatic coffee instant dispenser* ini menggunakan kontroler dengan tuning trial and error. Nilai inilah yang nantinya akan menjadi parameter penentuan konstanta pada kontroler fuzzy. Diagram blok pengendali fuzzy dapat dilihat seperti Gambar 3 dibawah ini.



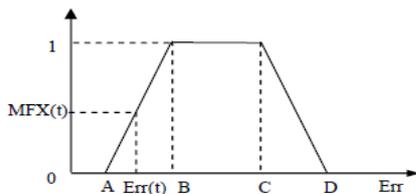
Gambar 3. Diagram blok sistem kendali fuzzy

2.2.1. Perancangan Program Secara Umum

Perancangan kontroler logika fuzzy dilakukan dengan melakukan perubahan nilai rentang dan bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan, baik masukan maupun keluaran.

Prosedur logika fuzzy yang digunakan meliputi proses fuzzifikasi, evaluasi rule/aturan dengan metode Sugeno dan proses defuzzifikasi menggunakan metode *Weighted Average*. Data diambil berdasarkan perubahan variasi referensi dan jenis fuzzifikasinya. Untuk memperoleh tanggapan kecepatan yang sesuai, dilakukan dengan perubahan fungsi keanggotaan dengan rentang nilai tertentu. Data kecepatan dimasukkan ke dalam sistem pengendali agar diperoleh data koreksi kecepatan (*error*) dan selisih koreksi kecepatan ($\Delta error$), sedangkan keluaran berupa *error* yang semakin kecil.

Pengubahan data kedalam bentuk fuzzy ini digunakan analisis grafik sumbu X sebagai masukan tegas dan sumbu Y sebagai hasil perhitungan dari fungsi keanggotaan setiap masukan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan error dan $\Delta error$

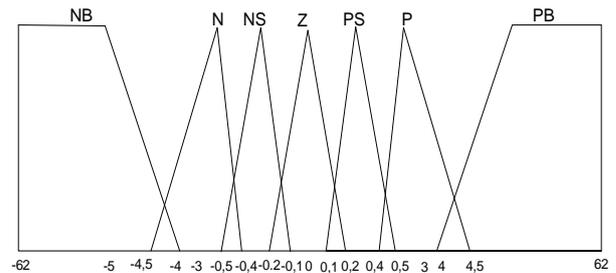
Jika pada masing-masing label *error* dan $\Delta error$ mempunyai bentuk fungsi keanggotaan seperti pada

Gambar 4 dan A, B, C, D serta $Err(t)$ merupakan variabel maka nilai dari $MFX(t)$ dapat cari dengan persamaan 1.

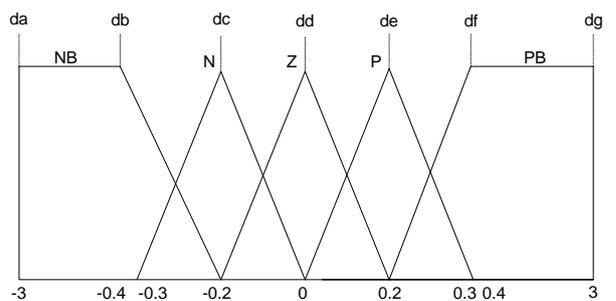
$$MFX(t) = \begin{cases} 0, & \text{Jika } Err(t) \leq A \\ \frac{Err(t)-A}{B-A}, & \text{Jika } A \leq Err(t) \leq B \\ 1, & \text{Jika } B \leq Err(t) \leq C \\ \frac{D-Err(t)}{D-C}, & \text{Jika } C \leq Err(t) \leq D \\ 0, & \text{Jika } D \leq Err(t) \end{cases} \quad (1)$$

Sistem logika fuzzy yang dirancang mempunyai 2 masukan yaitu *error* dan $\Delta error$ serta 1 keluaran yaitu ΔPWM . Dalam sistem ini dirancang fungsi keanggotaan *error*, $\Delta error$, dan ΔPWM dengan jumlah label 7 label yaitu NB (*Negative Big*), N (*Negative*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), P (*Positive*), PB (*Positive Big*).

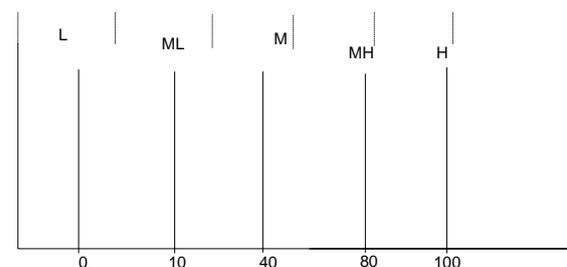
Fungsi keanggotaan masukan mempunyai bentuk trapesium dan segitiga serta keluaran mempunyai bentuk *singleton*. Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan batasan-batasan fungsi keanggotaan *error*, $\Delta error$, dan ΔPWM .



Gambar 5. Batasan Fungsi Keanggotaan Error



Gambar 6. Batasan Fungsi Keanggotaan $\Delta Error$



Gambar 7. Batasan Fungsi Keanggotaan ΔPWM

Basis aturan merupakan keseluruhan aturan dari kombinasi dua masukan yang mungkin. Secara umum penentuan aturan-aturan ini yaitu:

- Jika besar *error* kurang dari sama dengan nol maka besar keluaran LOW.
- Jika besar *error* lebih dari nol maka keluaran bukan LOW.

Secara lengkap jumlah kombinasi yang mungkin dari dua himpunan masukan *fuzzy* pada perancangan sistem pengendali suhu cairan dengan fungsi keanggotaan tujuh dikali lima adalah tiga puluh lima aturan seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Basis Aturan *Fuzzy*

ΔPWM	Error							
		NB	N	NS	Z	PS	P	PB
$\Delta Error$	NB	L	L	L	L	ML	MH	H
	N	L	L	L	L	ML	M	MH
	Z	L	L	L	L	ML	M	H
	P	L	L	L	L	ML	M	H
	PB	L	L	L	L	ML	M	H

Pengendali logika *fuzzy* pada penelitian ini menggunakan metode defuzzifikasi *Weighted Average*. Metode ini terbukti mampu mengikuti referensi keluaran yang diberikan [2][6][7]. Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy*, secara umum dirumuskan pada persamaan 3.

$$Z_{coa} = \frac{\sum_{j=1}^7 Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^7 \mu(Z_j)} \quad (3)$$

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Pemrograman mikrokontroler Atmega32 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan *software* pada penelitian ini juga menggunakan bahasa C dengan kompiler Code Vision AVR.

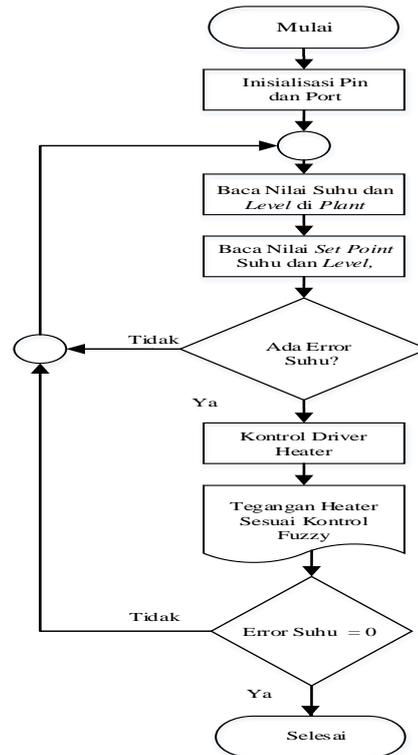
2.3.1. Perancangan Program Secara Umum

Secara umum pada perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler Atmega16 ini terdiri atas :

- Perancangan Program Utama.
- Program Inisialisasi I/O dan Variabel.
- Program *Push Button*.
- Program Pengambilan Data (sensor suhu DS18B20 dan sensor jarak HC-SR04)
- Program Tampilan LCD 16x2
- Program *Zero Crossing Detector* dan Sinyal Pemicuan Triac
- Program Kendali *fuzzy*
- Program Data Serial

2.3.2. Perancangan Diagram Alir Sistem Pemanas

Dalam penelitian ini diagram alir yang dimaksud adalah alur jalannya program pada sistem pemanas saat dijalankan. Diagram alir (*flowchart*) sistem pada Gambar 8 menunjukkan alur kerja sistem pemanas pada *automatic coffe instant dispenser*.



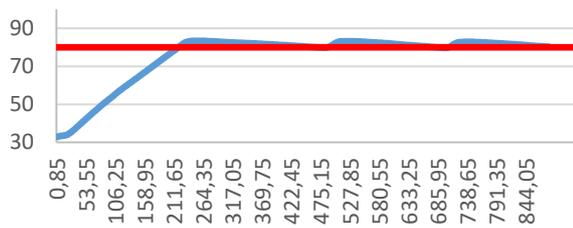
Gambar 8. Diagram alir sistem pemanas

3. Hasil dan Analisa

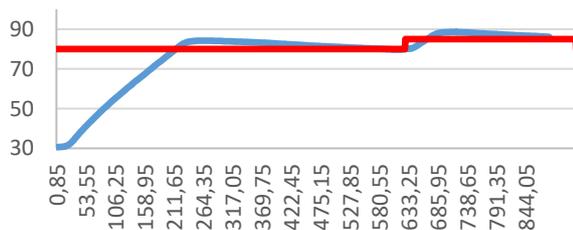
Pada penelitian ini tentang perancangan sistem pengaturan suhu pada *automatic coffee instant dispenser* dengan menggunakan kontrol *fuzzy* dilakukan beberapa pengujian sistem. Secara garis besar, pengujian pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu, pengukuran catu daya, pengujian sensor DS18B20, HC-SR04, pengujian LCD, pengujian servo, pengujian pengendali tegangan AC dan *push button*, dan pengujian kontroler. Tetapi, akan ditampilkan 2 pengujian keseluruhan sistem yaitu dengan kontroler *on-off* dan dengan kontroler *fuzzy*.

3.1. Penentuan Kontrol On-Off

Pengujian kontrol *on-off* ini dilakukan dalam penelitian terhadap kontrol suhu *automatic coffee instant dispenser*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, *set point* pada pengujian ini adalah 50 °C dan 80 °C. Pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10 berbentuk respon sistem.



Gambar 9. Respon sistem kontrol on-off setpoint 80 °C



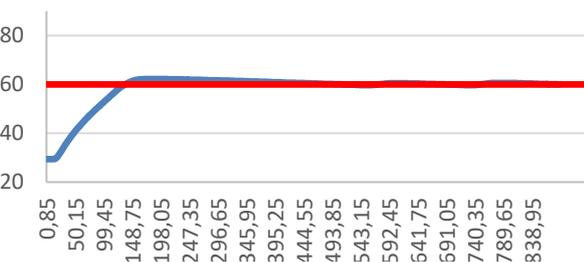
Gambar 10. Respon sistem kontrol on-off dari 80 °C - 85 °C

3.2. Pengujian Struktur Kontrol Fuzzy

Pengujian dengan menggunakan kontroler *Fuzzy* ini dilakukan dengan memberikan *setpoint* yang berbeda kedalam sistem, sehingga dari pemberian *setpoint* tersebut dapat terlihat respon yang berbeda. Pada pengujian ini dilakukan pemberian 3 *setpoint* yang berbeda yaitu 60°C, 70°C dan 80°C.

1. Suhu 60°C

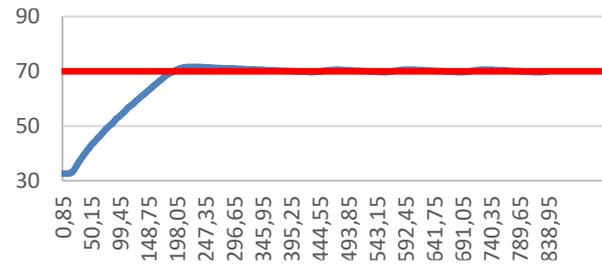
Pengujian kontroler *fuzzy setpoint* suhu 60°C menghasilkan T_r sebesar 136 detik, T_p sebesar 168,3 detik, dan M_p sebesar 3,7 %. Nilai IAE pada pengujian ini adalah 3672.



Gambar 11. Respon sistem dengan suhu 60° C

2. Suhu 70°C

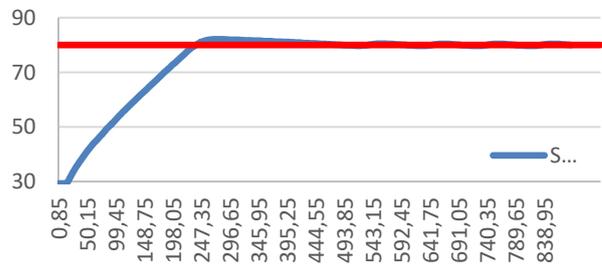
Pengujian kontroler *fuzzy setpoint* suhu 70°C menghasilkan T_r sebesar 136 detik, T_p sebesar 168,3 detik, dan M_p sebesar 3,7 %. Nilai IAE pada pengujian ini adalah 3744,1.



Gambar 12. Respon sistem dengan suhu 70° C

3. Suhu 80°C

Pengujian kontroler *fuzzy setpoint* suhu 70°C menghasilkan T_r sebesar 136 detik, T_p sebesar 168,3 detik, dan M_p sebesar 3,7 %. Nilai IAE pada pengujian ini adalah 3789,4.



Gambar 13. Respon sistem dengan suhu 80° C

Tabel 2. Parameter respon transien *setpoint* 60, 70 dan 80

Kontrol	Parameter	Setting point (°C)			Rerata
		60	70	80	
Fuzzy	t_r (s)	136	192,1	238	188,7
	t_p (s)	168,3	215	267,7	217
	t_s (s)	542,3	430	514,2	495,5
	M_p (%)	3,7	2,3	2,6	2,86
		1,75	0,95	0,56	1,56

Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai t_r terkecil pada variasi referensi 60°C sampai 80°C selama 1,1 detik. Dari semua variasi referensi kecepatan menghasil nilai t_p dan t_d yang dapat dikatakan sama atau jika di rata-rata masing-masing selama 1,7 detik dan 0,5 detik. Waktu tunak Nilai t_s dari variasi referensi kecepatan yang diujikan menghasilkan nilai rata-rata selama 495,5 detik.

Penggunaan metode defuzzifikasi *Weight Average* pada kontroler logika *fuzzy* dalam mengendalikan suhu cairan pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa metode defuzzifikasi *Weight Average* mampu mengendalikan sistem dengan rata-rata persentase galat keadaan tunak sebesar 1,56% atau dibawah 2%. Dengan IAE masing-masing adalah 3672, 3744,1, dan 3789,4

3.3. Pengujian Kontrol Fuzzy

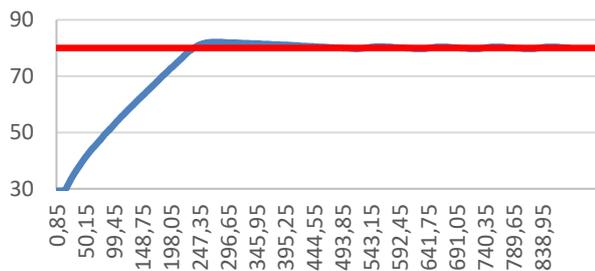
Pengujian perangkat lunak pada penelitian ini adalah pengujian pengendali terhadap kerja sistem pengendalian suhu cairan pada alat *automatic coffee instant dispenser*.

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon dan karakteristik *software* dalam proses pengendalian suhu cairan pada *plant*. Pengujian ini terdiri dari pengujian sistem dengan referensi tetap, referensi naik, referensi turun dan respon dengan gangguan.

Pengujian yang dilakukan akan menghasilkan grafik respon yang nantinya akan digunakan untuk menganalisa kestabilan sistem. Parameter kestabilan sistem tersebut dapat dilihat dari besarnya *dead time*, T_s (*settling time*), T_r (*Rise Time*) dan *overshoot* yang dihasilkan. Dari hasil pengujian yang dilakukan berulang-ulang, diharapkan adanya respon sistem terbaik, yaitu respon yang memiliki T_r dan T_s yang terkecil serta nilai *overshoot* yang masih dalam batas toleransi.

1. Pengujian Sistem Referensi Tetap

Pengujian sistem pengendalian suhu pada tahap ini adalah menggunakan referensi tetap. Pengujian referensi tetap adalah pengujian yang menggunakan *set point* tetap yaitu 80°C. Suhu awal cairan yang ada pada alat pemanas adalah 30°C.



Gambar 14. Respon sistem metode fuzzy dengan referensi tetap

Pengujian dengan referensi tetap menggunakan kendali fuzzy ini dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik. Respon sistem pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar 238 detik dan T_s sebesar 1763 detik. Pada respon sistem ini terdapat *maksimum overshoot* sebesar 2,1°C. Nilai IAE dari pengujian sebesar 3789,3

2. Pengujian Sistem dengan Referensi Naik

Pengujian sistem pengendalian suhu pada tahap ini adalah pengujian sistem dengan referensi naik. Pengujian referensi naik menggunakan *set point* awal sebesar 80°C. Setelah mencapai *set point* pertama, kemudian *set point* suhu dinaikkan menjadi 85°C.

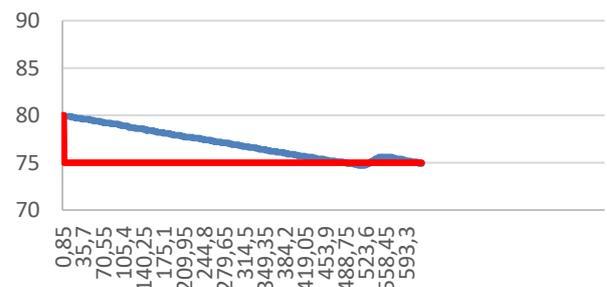


Gambar 15. Respon sistem metode fuzzy dengan referensi naik

Pengujian dengan referensi naik menggunakan kendali fuzzy ini dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik. Respon sistem pada pengujian dengan referensi naik dengan *set point* 80°C menghasilkan nilai *dead time* sebesar 10 detik, T_r (waktu naik) sebesar 289,8 detik dan T_s sebesar 511,7 detik. Pada respon sistem saat *set point* dinaikkan menjadi 85°C sistem menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar (657,9-511,7) detik = 146,2 dan T_s sebesar (2698-511,7) detik = 321,3 detik. Sistem dapat mempertahankan kestabilan sampai akhir pengujian sistem. Nilai IAE dari pengujian 4695,4.

3. Pengujian Sistem dengan Referensi Turun

Pengujian dengan referensi turun dilakukan dengan cara memberikan *set point* dengan suhu 80°C kemudian diturunkan menjadi 75°C. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa baik kontroler jika sistem harus merespon *set point* yang bersifat menurun. Sistem ini diuji dengan lama pengujian 612,5 detik. .



Gambar 16. Respon sistem metode fuzzy dengan referensi turun

Hasil pengujian dengan referensi turun menggunakan kendali fuzzy menunjukkan bahwa kontroler dapat mengatur perubahan suhu cairan mengikuti perubahan *set point* yang diberikan pada sistem. Pada respon sistem saat *set point* diturunkan menjadi 50°C sistem menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar (484,5-3,4) = 481,1 detik, dan T_s sebesar (531,2-3,4) = 527,8 detik. Pada pengujian ini, *error steady state*. Sistem dapat mempertahankan kestabilan sampai akhir pengujian sistem. Nilai IAE yang dihasilkan dari pengujian sebesar 5478,3.

Pada pengujian dengan referensi turun, terlihat bahwa respon sistem saat *set point* diturunkan relatif lebih lama jika dibandingkan saat *set point* dinaikkan. Hal ini disebabkan karena saat *set point* turun, tidak ada aktuatur khusus yang digunakan untuk menurunkan suhu cairan.

3.4. Pengujian Proses Pengisian

Setelah proses pemanasan yang mempunyai *set point* awal sebesar 50° C dan *set point* akhir 80° C pada kedua *heater*, bahan-bahan akan dialirkan ke gelas melewati *valve* 1 dan 2 sesuai takaran menu . Pada semua menu, *set point* akhir dari isi volume gelas adalah sama yaitu 175 ml. Untuk menu Latte perbandingan antara kopi dan *creamer* adalah 1 : 3 dan untuk Cappuccino perbandingannya adalah 1 : 2 [4].

Tabel 3. Hasil Pengujian Level dari Hasil Akhir Dispenser Kopi Otomatis Menu Espresso

Pengujian	Set Point (ml)	Hasil Pengujian (ml)	Error (ml)
Ke-1	175	181	6
Ke-2	175	177	2
Ke-3	175	179	4
Ke-4	175	179	4
Ke-5	175	182	7
	Error		21
	Error rata-rata		4,2

Tabel 4. Hasil Pengujian Level dari Hasil Akhir Dispenser Kopi Otomatis Menu Latte

Pengujian	Set Point (ml)	Hasil Pengujian (ml)	Error (ml)
Ke-1	175	182	7
Ke-2	175	184	9
Ke-3	175	180	5
Ke-4	175	181	6
Ke-5	175	182	7
	Error		34
	Error rata-rata		6,8

Tabel 5. Hasil Pengujian Level dari Hasil Akhir Dispenser Kopi Otomatis Menu Cappuccino

Pengujian	Set Point (ml)	Hasil Pengujian (ml)	Error (ml)
Ke-1	175	181	6
Ke-2	175	183	8
Ke-3	175	185	10
Ke-4	175	180	5
Ke-5	175	183	8
	Error		37
	Error rata-rata		7,4

Pada pengujian ini sistem diberikan *set point* akhir sebesar 175 ml yang telah dikonversi menjadi jarak yaitu sebesar 5 cm. Percobaan pada menu espresso takaran antara kopi dan *creamer* yaitu 1:0. Error yang rata-rata yang dihasilkan pada menu ini adalah 4,2 ml.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol pemanas pada alat *automatic coffee instant* dispenser dapat memanaskan kopi dan *creamer* sesuai *setpoint* yang diinginkan yaitu sebesar 80° C. Pada pengujian kontrol *fuzzy* dengan diberi *setpoint* berbeda, didapatkan *setpoint* terbaik pada saat 80° C. Respon sistem ini memiliki waktu naik 238 detik, waktu puncak 267,2 detik dan *settling time* sebesar 514 detik serta untuk nilai *integral area error* sebesar 3789,4. Dapat terlihat sistem kontrol *fuzzy* lebih baik dibandingkan sistem *on-off*.

Referensi

- [1]. AAK, *Budidaya Tanaman Kopi*. Yogyakarta: Yayasan Kanisius, 1988.
- [2]. Y. Masdakaty, "Mengetahui Tipe-Tipe Mesin Espresso," 2106. [Online]. Available: <https://majalah.ottencoffee.co.id/mengetahui-tipe-tipe-mesin-espresso/>. [Accessed: 20-Aug-2016].
- [3]. MesinRaya, "Automatic Coffee Dispenser," 2014. [Online]. Available: <http://www.mesinraya.co.id/automatic-coffe-dispenser-sc-8703.html>. [Accessed: 20-Aug-2016].
- [4]. D.Pamela and T.Jebarajan, "Intelligent Controller for Temperature Process," *Int. J. Control Autom.*, vol. 6, no. 5, pp. 191–198, 2013.
- [5]. S. Kocher and A. K. Kori, "PID Based Temperature Control of a Plant Heat Exchanger System," *Nov. Res. Electr. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 43–47, 2015.
- [6]. M. J. M. Rodrigues, "PID Control of Water in a tank," Tesis, Faculty of Engineering and Sustainable Development, University of Gavle, Kungsbacksvägen, 2011.
- [7]. D. A. R. Wati, *Sistem Kendali Cerdas*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [8]. E. Apriantoro, "Perancangan Mesin Sentrifugasi berbasis Kontrol PID dengan Menggunakan Mikrokontroler ATMega8535 untuk Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO) dari Santan Kelapa," *Transient*, vol. 3, no. 3, hal. 341-349, Sep. 2014.