

Perbandingan Performa Logika Fuzzy Tipe-1 Dan Logika Fuzzy Tipe-2 Pada Sistem Pasteurisasi Susu Berbasis Mikrokontroler

Performance Comparison of Type-1 Fuzzy Logic and Type-2 Fuzzy Logic in Microcontroller-Based Milk Pasteurization System

Dhiyaa Rifqi Taufiqurrahman, Muhammad Aria Rajasa Pohan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipati Ukur No. 112, Bandung, Indonesia 40132

Email : dhiyaa.13118026@mahasiswa.unikom.ac.id

Abstrak – Susu merupakan bahan makanan yang mudah rusak, untuk memperpanjang ketahanan susu dapat dilakukan teknik pemanasan yang disebut dengan pasteurisasi. Proses pasteurisasi tersebut bertujuan untuk membunuh bakteri patogen yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan meminimalkan perkembangan mikroorganisme pembusuk lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pasteurisasi susu yang mampu mengatur suhu secara stabil pada proses pasteurisasi susu metode *High Temperature Short Time* (HTST) menggunakan logika fuzzy tipe-1 dan logika fuzzy tipe-2. Logika fuzzy tipe-2 merupakan pengembangan lebih lanjut dari logika fuzzy tipe-1, dengan adanya tambahan dimensi dari fungsi keanggotaannya, memungkinkan sistem logika fuzzy tipe-2 dapat merepresentasikan himpunan fuzzy yang lebih fleksibel dan dapat merepresentasikan ketidakpastian lebih baik daripada logika fuzzy tipe-1. Dua pengujian dilakukan untuk membandingkan performansi kedua sistem tersebut yaitu pada kondisi tanpa adanya gangguan (*noise*) dan kondisi dengan adanya gangguan. Hasilnya menunjukkan bahwa pada pengujian tanpa adanya gangguan, logika fuzzy tipe-2 unggul dalam hal *maximum overshoot*, sedangkan logika fuzzy tipe-1 unggul dalam *rise time*. Namun, dalam pengujian dengan adanya gangguan, logika fuzzy tipe-2 lebih baik dalam mencapai *rise time* dan *settling time*, serta mampu menjaga suhu tetap maupun mendekati *setpoint* lebih lama dibandingkan dengan logika fuzzy tipe-1. Penelitian ini menunjukkan bahwa logika fuzzy tipe-1 dan tipe-2 dapat diterapkan pada sistem pasteurisasi susu berbasis mikrokontroler dan dapat mengatur kestabilan suhu pada proses pasteurisasi susu metode HTST. Serta menunjukkan bahwa logika fuzzy tipe-2 menghasilkan performansi lebih baik daripada logika fuzzy tipe-1.

Kata kunci : Pasteurisasi Susu, HTST, Logika Fuzzy Tipe-1, Logika Fuzzy Tipe-2

Abstract – Milk is a perishable food product, to extend its shelf life, a heating technique called pasteurization can be applied. The purpose of pasteurization is to kill pathogenic bacteria that can be harmful to human health and minimize the growth of other spoilage microorganisms. This study aims to design a milk pasteurization system that can regulate temperature stably in the HTST pasteurization method using type-1 fuzzy logic and type-2 fuzzy logic. Type-2 fuzzy logic is a further development of type-1 fuzzy logic, with an additional dimension of membership function, allowing type-2 fuzzy logic systems to represent more flexible fuzzy sets and better represent uncertainty than type-1 fuzzy logic. Two tests were conducted to compare the performance of the two systems, one with no disturbance (*noise*) and other with disturbance. The result showed that in the test with no disturbance, type-2 fuzzy logic performed better than type-1 fuzzy logic in terms of *maximum overshoot*, while type-1 fuzzy logic performed better in terms of *rise time*. However, in the test with disturbance, type-2 fuzzy logic outperformed type-1 fuzzy logic at achieving *rise time* and *settling time* and was able to maintain or approach the temperature *setpoint* for a longer period than type-1 fuzzy logic. This study shows that type-1 and type-2 fuzzy logic can be applied to a microcontroller-based milk pasteurization system and can control temperature stability in the HTST milk pasteurization process. It also

Keywords : Milk Pasteurization, High Temperature Short Time, Type-1 Fuzzy Logic, Type-2 Fuzzy Logic

I. PENDAHULUAN

Susu merupakan bahan makanan yang mudah rusak (*perishable food*) [1]. Untuk memperpanjang ketahanan susu, dapat dilakukan teknik pemanasan yang disebut dengan pasteurisasi [2]. Proses pasteurisasi tersebut bertujuan untuk membunuh bakteri patogen yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan meminimalkan perkembangan mikroorganisme pembusuk lainnya [3]. Metode pasteurisasi susu *Low Temperature Long Time* (LTLT) dan *High Temperature Short Time* (HTST) adalah metode yang paling banyak digunakan oleh masyarakat karena lebih mudah dan tidak membutuhkan peralatan mahal [4]. Badan Standarisasi Nasional juga mengemukakan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 3951 tahun 2018 tentang susu pasteurisasi bahwa, susu pasteurisasi merupakan produk susu cair yang telah dipanaskan dengan metode HTST untuk membunuh mikroba patogen [4-5].

Untuk terlaksananya proses pasteurisasi susu, suhu pada proses pasteurisasi susu harus stabil. Proses pasteurisasi tersebut menghadirkan masalah kontrol seperti, perilaku dinamis *non-linier*, interaksi multi variabel antara variabel yang dimanipulasi dan variabel keadaan (*state variable*) [6].

Produk susu pasteurisasi di industri rumahan masih menggunakan kompor gas dan masih mengandalkan tenaga manusia dalam mengamati suhu pada susu yang sedang melalui proses pasteurisasi, ketika suhu susu lebih maupun kurang dari suhu yang telah ditentukan pengaturan api masih secara manual dengan memutar knop pada kompor gas. Hal ini tidak efisien untuk dilakukan, karena jika susu dipanaskan dengan suhu terlalu tinggi susu akan pecah sehingga menyebabkan kualitas susu menjadi rendah dan tidak layak konsumsi [2]. Bakteri patogen pun baru akan mati pada suhu lebih dari 70°C [7].

Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan suatu sistem kontrol yang mampu menjaga kestabilan suhu secara otomatis dengan hanya menentukan *setpoint* suhu sesuai dengan metode pasteurisasi HTST [6]. Dan mengefektifkan proses pasteurisasi tersebut. Salah satu sistem cerdas yang dapat diaplikasikan pada pasteurisasi susu adalah *fuzzy logic* untuk menjaga suhu dalam proses pasteurisasi susu tetap konstan dan terjaga dari permasalahan lingkungan nyata yang tidak tetap (*non-linier*), tidak presisi dan tidak pasti [8-10]. Di bidang kontrol suhu, cara meningkatkan akurasi kontrol suhu merupakan salah satu topik yang penting. Dengan *fuzzy logic* biasa (logika *fuzzy* tipe-1) hasilnya sering tidak

akurat dan kurang beradaptasi dengan perubahan suhu yang terjadi [11]. Ada dua sistem *fuzzy logic* yang diketahui berdasarkan jenis fungsi keanggotaan yang digunakan yaitu sistem logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 [12]. Sistem logika *fuzzy* tipe-2 adalah perluasan dari logika *fuzzy* tipe-1 dengan adanya tambahan dimensi dari fungsi keanggotaannya, memungkinkan sistem logika *fuzzy* tipe-2 dapat merepresentasikan himpunan *fuzzy* yang lebih fleksibel dan dapat merepresentasikan ketidakpastian lebih baik dari fungsi keanggotaan logika *fuzzy* tipe-1 [13].

Pada penelitian sebelumnya oleh Y. Triwidyastuti, dkk [14]. Telah merealisasikan proses pasteurisasi susu metode LTLT yang dibangun menggunakan pengendali PID dan pengendali *fuzzy*. Pada penelitian ini masih menggunakan kompor gas dengan *output* berupa motor servo untuk menentukan besar kecilnya api tungku pemanas. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem PID memberikan respon lebih cepat daripada *fuzzy*. Sistem *fuzzy* menghasilkan nilai *mean square error* (MSE) lebih kecil yang membuat sistem *fuzzy* memiliki fluktuasi kesalahan lebih kecil daripada sistem pengendali PID. Penggunaan metode pasteurisasi susu LTLT dirasa kurang efektif karena memakan waktu untuk proses pasteurisasi cukup lama. Lalu penelitian selanjutnya oleh M. Kayalvizhi, dkk [6]. Telah menerapkan *cascade control* pada proses pasteurisasi susu metode HTST. Pemodelan Simulink telah dibuat, dianalisis dan dibandingkan untuk proses *plant* pasteurisasi susu dengan tahapan *pre-cooling* dan tanpa tahapan *pre-cooling*. Hasil yang diperoleh membuktikan bahwa dengan menghilangkan tahapan *pre-cooling* tetap dapat mempertahankan kinerja dari *plant* pasteurisasi susu. Phan, dkk [15]. Dalam penelitiannya tentang kendaraan *hybrid electric autonomous* dalam keadaan yang tidak pasti (*uncertainty*) dan ambigu di lingkungan jalan dan perilaku pengemudi. Menunjukkan bahwa ketika kendaraan beroperasi dalam keadaan ketidakpastian (*uncertainty*) dan kondisi jalan yang tidak pasti (ambigu), kontrol *interval* logika *fuzzy* tipe-2 dapat menghemat masa pakai baterai daripada kontrol logika *fuzzy* tipe-1. *Interval* logika *fuzzy* tipe-2 dapat memungkinkan pengurangan jejak karbon pada kendaraan *autonomous*, seperti yang diinginkan di industri otomotif. Penelitian tersebut membuktikan bahwa *interval* logika *fuzzy* tipe-2 dapat mengungguli logika *fuzzy* tipe-1. K. A. Naik, dkk [16] merancang dan mengembangkan logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 untuk sistem energi angin yang dikontrol sudut *pitch*

untuk menyelidiki kinerjanya. Hasilnya menunjukkan bahwa kontrol logika *fuzzy* tipe-2 memberikan kinerja yang lebih baik daripada logika *fuzzy* tipe-1 dengan mengatasi ketidakpastian (*uncertainty*) dalam *fuzzy rules* dan *membership function* dan memiliki *overshoot* yang lebih rendah.

Berdasarkan hal yang telah dipaparkan di atas, kestabilan suhu pada proses pasteurisasi susu penting dilakukan untuk menjaga kualitas susu dan susu layak dikonsumsi [2]. Peneliti belum menemukan penelitian sebelumnya yang menerapkan sistem logika *fuzzy* tipe-2 untuk proses pasteurisasi susu. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistem kontrol otomatis untuk mengatur suhu pada proses pasteurisasi susu metode HTST dengan *setpoint* suhu 72°C [6]. Dan mencari sistem kontrol terbaik untuk proses pasteurisasi susu dengan membandingkan kinerja logika *fuzzy* tipe-2 dengan sistem *fuzzy logic* biasa (logika *fuzzy* tipe-1) yang diterapkan pada proses pasteurisasi susu. Logika *fuzzy* digunakan dalam penelitian ini karena kemampuannya dalam menangani variabel linguistik dengan himpunan dan aturan *fuzzy* dan kemampuannya dalam pengendalian sistem yang melibatkan ketidakpastian dalam pengambilan keputusan atau pemrosesan data.

II. METODOLOGI

Pada bagian ini akan membahas tentang perancangan sistem pasteurisasi susu menggunakan logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2. Dalam tahapan ini dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Pada Perancangan perangkat keras ini meliputi sensor suhu sebagai *input*, modul AC *dimmer*, modul *driver* MOSFET dan LCD sebagai *output*, dan mikrokontroler Arduino Uno yang memproses keseluruhan sistem. Pertama-tama akan dibahas blok diagram dari sistem yang akan dibuat. Pada blok diagram terdapat tiga bagian, yaitu bagian *input*, proses, dan *output*. Blok diagram sistem pasteurisasi susu ditunjukkan oleh **Gambar 1**. Pada sistem pasteurisasi susu ini terdapat tiga bagian, yaitu bagian *input*, proses, dan bagian *output*.

Berikut uraian singkat fungsi dari masing-masing bagian pada blok diagram sistem pasteurisasi susu.

1. *Input*

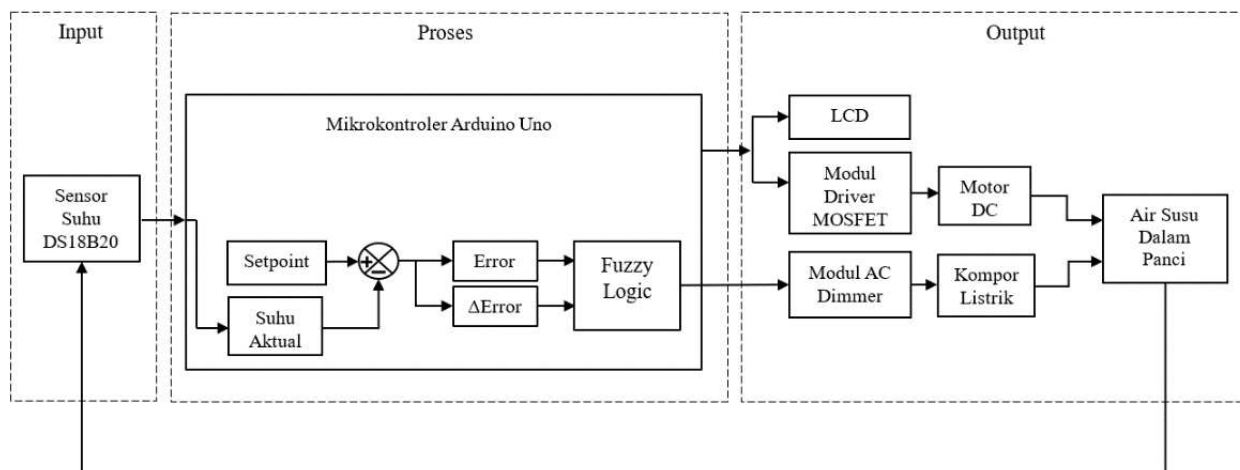
Pada bagian *input* terdapat sensor suhu DS18B20. Sensor suhu ini digunakan untuk mengukur nilai suhu air susu dalam panci. Selain itu sensor suhu juga digunakan sebagai umpan balik (*feedback*) yang membandingkan keadaan sebenarnya (dalam hal ini suhu aktual) dengan nilai *setpoint* yang sudah ditentukan. Sehingga nilai *input* dan *output* pada *fuzzy logic* dapat dihasilkan berdasarkan perbandingan tersebut.

2. Proses

Hasil pembacaan suhu tersebut diproses dalam mikrokontroler Arduino Uno untuk mendapatkan nilai suhu aktual, dan juga dua *input* untuk sistem logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 yang ada pada Arduino Uno yaitu *error* dan delta (Δ) *error*. Nilai *Error* merupakan nilai selisih antara *setpoint* dengan suhu aktual yang didapatkan dari hasil pembacaan sensor suhu sedangkan Δ *error* adalah selisih *error* saat ini (*t*) dengan *error* sebelumnya (*t-1*). Selain mengendalikan sensor suhu, Arduino Uno juga mengendalikan komponen yang terdapat pada bagian *output* dari sistem.

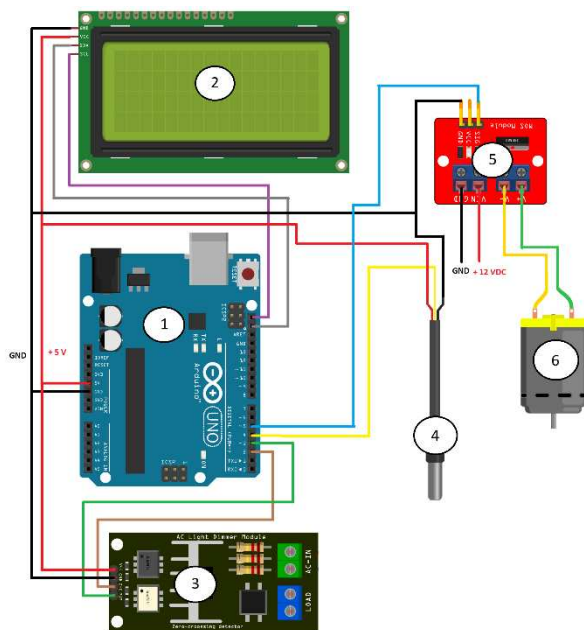
3. *Output*

Pada bagian *output* terdapat Modul AC *dimmer*, Modul *driver* MOSFET IRF520 dan LCD. Keluaran dari *fuzzy logic* akan dikirimkan ke modul AC *dimmer* ini untuk mengontrol tegangan AC kompor listrik sehingga panas dari elemen pemanas listrik yang ada pada kompor listrik dapat diatur dan dapat memanaskan air susu dalam panci sesuai dengan kebutuhannya. Modul *driver* MOSFET IRF520 digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor DC yang digunakan sebagai pengaduk air susu yang ada dalam panci pada proses pasteurisasi susu. Dan yang terakhir LCD berfungsi untuk mengetahui dan menampilkan nilai hasil pembacaan sensor pada bagian *input*, nilai *input* untuk kontrol *fuzzy logic* pada mikrokontroler Arduino Uno dan nilai *output* dari *fuzzy logic*.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Pasteurisasi Susu

Komponen-komponen yang ada pada blok diagram tersebut membutuhkan rangkaian yang saling terintegrasi sehingga menjadi sebuah sistem. **Gambar 2** memperlihatkan penggabungan seluruh komponen beserta pengkabelannya yang digambarkan dalam sebuah skematik rangkaian.



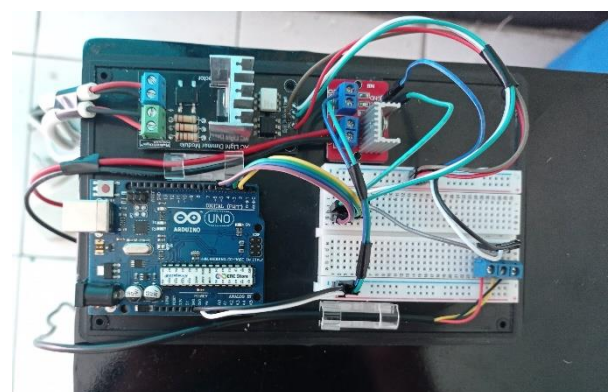
Gambar 2. Skematik Rangkaian

Kemudian **Tabel I** menunjukkan pengkabelan rangkaian dari komponen yang digunakan. Nomor 1 menunjukkan mikrokontroler Arduino Uno. Nomer 2 menunjukkan *Liquid Crystal Display* (LCD). Nomer 3 menunjukkan modul AC *dimmer*. Nomer 4 adalah sensor suhu DS18B20. Nomer 5 menunjukkan modul *driver* MOSFET IRF520 untuk motor DC. Dan nomer 6 menunjukkan Motor DC.

Tabel I. Pengkabelan Rangkaian

Arduino Uno	LCD	AC Dimmer	Sensor Suhu	Driver Motor
5 V	VCC	VCC	VCC	VCC
GND	GND	GND	GND	GND
SCL	SCL			
SDA	SDA			
Digital 2		Z-C		
Digital 3		PWM		
Digital 4			Data	
Digital 5				Data

Dari komponen-komponen yang digunakan pada sistem pasteurisasi susu, dibutuhkan perangkat keras pembantu untuk memudahkan jalannya proses pasteurisasi susu, komponen perangkat keras tersebut kemudian dikemas ke dalam box plastik berukuran 18.3 x 11.5 cm supaya aman dan rapi yang ditunjukkan oleh **Gambar 3**.



Gambar 3. Rangkaian Sistem Dalam Box

Pada box terpasang kipas pendingin yang digunakan untuk mengurangi panas TRIAC pada modul AC *dimmer* karena beban besar dari kompor listrik. Kemudian box plastik dan *power supply* disimpan pada bagian atas kerangka alat

pasteurisasi susu. Motor pengaduk dan juga sensor suhu diletakkan di dalam panci yang terpasang pada kerangka alat pasteurisasi susu. Kompor listrik diletakkan pada bagian dasar kerangka alat. **Gambar 4** menunjukkan keseluruhan tampilan fisik dari perangkat keras yang sudah dibuat.

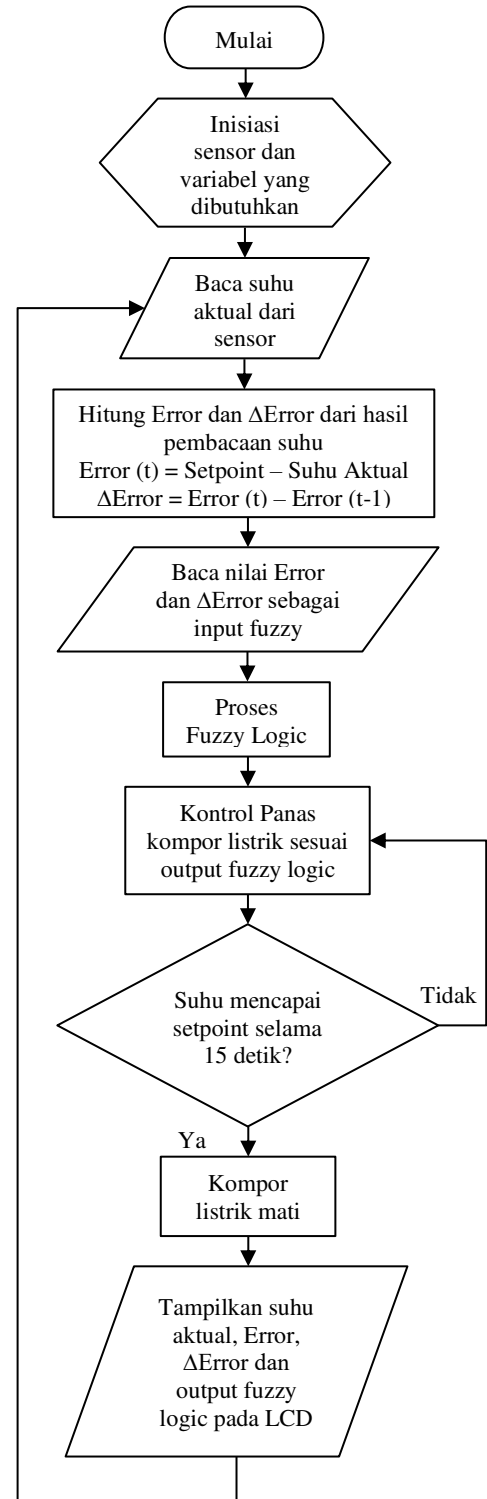


Gambar 4. Tampilan Fisik Keseluruhan Perangkat Keras

Perangkat keras memerlukan sistem perangkat lunak supaya dapat bekerja dengan baik. Pada perangkat lunak ini akan dirancang program untuk proses kerja sistem pasteurisasi susu. Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini dijabarkan dalam bentuk diagram alir pada **Gambar 5**.

Diagram ini berfungsi untuk menjelaskan atau menggambarkan setiap proses yang terjadi dalam program dan juga untuk memastikan program yang dibuat sesuai dengan alurnya. Mulai dari inisiasi sensor dan variabel yang dibutuhkan pada sistem seperti nilai suhu aktual hasil pembacaan sensor suhu, nilai *setpoint* yang diinginkan, nilai *error* dan *delta error*. Dilanjutkan dengan proses baca suhu aktual dari sensor suhu, jika sensor suhu dapat mendeteksi suhu, hasil pembacaan suhu tersebut digunakan untuk menghitung nilai *error* dan *delta error* yang nantinya digunakan sebagai *input* pada proses *fuzzy logic*. Ketika suhu aktual belum mencapai nilai *setpoint*, proses *fuzzy logic* meliputi (*fuzzifikasi*, *inference rules*, *defuzzifikasi*) akan berlangsung dan *output fuzzy logic* berupa *duty cycle* PWM digunakan untuk mengontrol modul AC *dimmer* yang telah dihubungkan dengan kompor listrik sehingga kompor listrik menyala berdasarkan *output fuzzy logic* yang dihasilkan. Ketika suhu aktual telah mencapai *setpoint* yang diinginkan dan stabil selama 15 detik, maka kompor listrik akan mati. Hasil dari pembacaan suhu, nilai *error* beserta *delta error* dan *duty cycle*

PWM ditampilkan pada LCD, jika suhu tetap pada *setpoint*, maka tahapan pembacaan akan dilakukan kembali, jika suhu tidak pada *setpoint* kembali ke proses *fuzzy logic* terus menerus untuk menjaga suhu tetap pada *setpoint*.



Gambar 5. Diagram Alir Sistem Pasteurisasi Susu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil dan pembahasan akan dijabarkan hasil pengujian dan analisis keseluruhan sistem pasteurisasi susu menggunakan logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 mencakup perangkat keras dan perangkat lunak yang sudah dibuat yang dibagi menjadi tiga bagian yaitu *input*, proses, dan *output*. Pada pengujian dan analisis keseluruhan sistem pasteurisasi dilakukan dengan cara membandingkan kinerja logika *fuzzy* tipe-1 dengan logika *fuzzy* tipe-2 pada sistem pasteurisasi susu. Dilakukan dua tahapan pengujian terhadap penerapan logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 pada sistem pasteurisasi susu yaitu tanpa adanya gangguan (*noise*) dan diberi gangguan (*noise*). Kemudian hasil dari pengujian yang dilakukan akan dianalisa untuk mengetahui apakah penelitian yang dilakukan sudah sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

A. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian sensor DS18B20 ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor dalam melakukan pembacaan suhu, sehingga sensor dapat digunakan pada sistem. Percobaan dilakukan dengan beberapa *temperature* atau suhu yang berbeda.

Pada percobaan yang dilakukan, pengambilan data dilakukan secara bersamaan antara sensor dan termometer digital. Hasil pembacaan sensor DS18B20 ditampilkan pada *serial monitor* yang terdapat pada Arduino IDE dan dibandingkan dengan alat ukur suhu termometer digital TP101. **Tabel II.** menunjukkan data pengukuran hasil pembacaan suhu antara sensor DS18B20 dan termometer digital beserta selisih yang didapat.

Tabel II. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Termometer Digital (°C)	Sensor DS18B20 (°C)	Selisih Data
23.5	24.6	1.1
33.9	34.8	0.9
41.3	42.2	0.9
45.5	46.1	0.6
50.4	51.1	1.1
55.4	56.7	1.3
64.8	65.9	1.1
72.7	73.9	1.2
77.9	78.5	0.6
80.3	81.4	1.1
Rata-rata Selisih		0.99

Dari hasil percobaan yang ditunjukkan pada **Tabel II** dapat diketahui bahwa hasil pembacaan

sensor DS18B20 memiliki nilai yang lebih tinggi dari termometer digital dengan nilai rata-rata selisih 0.99°C. Hal ini sejalan dengan *datasheet* dari sensor DS18B20 yang menunjukkan bahwa tingkat akurasi sensor bernilai ± 1 °C pada rentang pengukuran -30°C sampai 100°C [17].

B. Pengujian Modul MOSFET IRF520

Modul MOSFET ini difungsikan untuk mengatur kecepatan dari motor DC yang digunakan sebagai pengaduk susu. Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui motor DC dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan sistem. Kecepatan motor DC dapat dikontrol dengan mengubah tegangan yang melewati MOSFET.

Tegangan *input* modul berasal dari pin 5 V Arduino, nilai tegangan tersebut dikendalikan oleh sinyal PWM sehingga kecepatan motor DC pun dapat diatur. Motor DC diberi tegangan *input* 12 V dari *power supply* yang besar tegangannya diatur juga pada MOSFET. Percobaan dilakukan dengan mengatur nilai *duty cycle* PWM dengan kenaikan 10%. Nilai tegangan *output* Arduino dan motor DC diukur dengan menggunakan multimeter digital. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel III**.

Tabel III. Pengujian Modul MOSFET IRF520

Duty Cycle		Tegangan	Tegangan
Nilai PWM	%	Output Arduino	Output Motor
0	0	0 V	0 V
25.5	10	0.49 V	0.97 V
51	20	0.97 V	1.48 V
76.5	30	1.44 V	5.45 V
102	40	1.92 V	7.91 V
127.5	50	2.38 V	9.13 V
153	60	2.88 V	9.98 V
178.5	70	3.35 V	10.57 V
204	80	3.83 V	10.91 V
229.5	90	4.29 V	11.17 V
255	100	4.78 V	12.19 V

Hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa modul *driver* MOSFET dapat mengatur kecepatan motor DC yang nantinya digunakan sebagai pengaduk air susu pada proses pasteurisasi susu. Dengan mengatur besar kecilnya tegangan yang melewati MOSFET, semakin besar tegangan maka semakin cepat motor DC berputar. Untuk penggunaannya pada sistem pasteurisasi susu, pengaduk susu diperlukan untuk mengaduk susu secara perlahan supaya pemanasan susu merata dan lemak susu tidak menggumpal, sehingga nilai *duty cycle* yang digunakan untuk mengaduk susu sebesar 30% atau dengan nilai PWM sebesar 76.5.

C. Pengujian Modul AC Dimmer

Modul AC light dimmer adalah aktuator yang digunakan sebagai pengatur suhu pada air susu. Suhu tersebut dikendalikan dengan cara mengatur panas dari elemen pemanas listrik yang ada pada kompor listrik.

Pengujian modul AC light dimmer ini bertujuan untuk mengetahui modul AC dimmer dapat bekerja dengan baik mengatur panas kompor listrik sesuai kebutuhan sistem. Kompor listrik yang digunakan yaitu kompor listrik Maspion S-301 dengan tegangan AC 220 V yang memiliki frekuensi 50 Hz dan daya 800 Watt.

Tegangan *input* modul berasal dari pin 5V Arduino, sedangkan kompor listrik diberi tegangan *input* AC 220 V. Percobaan dilakukan menggunakan air putih yang dimasukkan ke dalam panci lalu tingkat kepanasan kompor diatur sesuai dengan nilai *duty cycle* PWM dari modul AC *dimmer* dengan kenaikan nilai 10%. Nilai tegangan *output* kompor listrik diukur dengan menggunakan multimeter digital dan suhu air pada panci diukur dengan menggunakan sensor suhu DS18B20. **Tabel IV** menunjukkan data pengukuran hasil pengujian.

Tabel IV. Pengujian Modul AC Dimmer

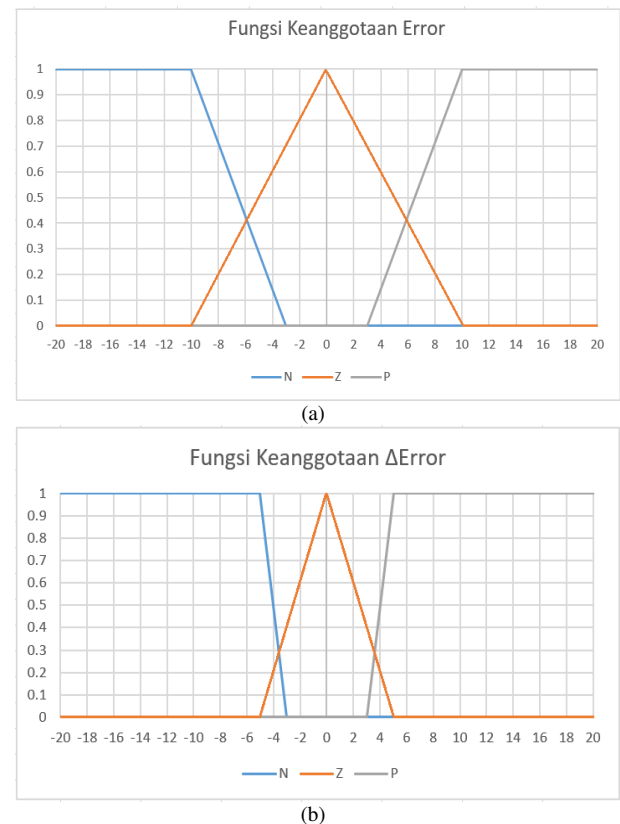
Duty Cycle		Tegangan Output (AC)	Keterangan
PWM	%		
0	0	0 V	Kompor mati
25.5	10	14 V	Kompor menyala panas rendah dengan rentan suhu 22°C - 43°C
51	20	35 V	
76.5	30	62 V	
102	40	94 V	Kompor menyala panas sedang dengan rentan suhu 43°C - 74°C
127.5	50	131 V	
153	60	160 V	
178.5	70	175 V	Kompor menyala panas dengan rentan suhu 74°C - 94°C
204	80	201 V	
229.5	90	211 V	
255	100	218 V	

Pengujian dilakukan menggunakan air putih yang dimasukkan ke dalam panci dengan suhu awal air 22°C, dari hasil pengujian diatas dapat dilihat bahwa modul AC *dimmer* dapat mengatur besar kecilnya tegangan yang akan digunakan pada kompor listrik dengan cara mengatur besar kecilnya tegangan yang melewati TRIAC pada modul AC *dimmer*, semakin besar tegangan maka kompor listrik pun akan semakin panas, berdasarkan hasil percobaan suhu maksimal yang dapat dicapai oleh kompor listrik yang digunakan yaitu 94°C. Pada sistem yang telah dibuat, kompor

listrik diperlukan untuk memanaskan susu sehingga dapat mencapai *setpoint* atau suhu yang sudah ditentukan. Nilai yang akan digunakan untuk mengontrol panas kompor listrik ditentukan oleh *output* dari kontrol *fuzzy logic*.

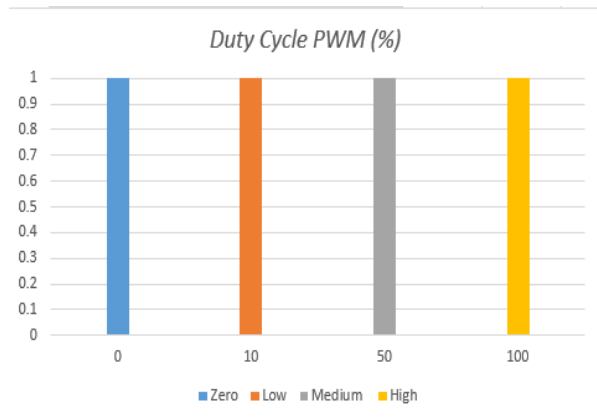
D. Pengujian Logika Fuzzy Tipe-1

Sistem kontrol logika *fuzzy* tipe-1 telah direalisasikan pada penelitian ini dengan menggunakan Arduino IDE tanpa menggunakan *library* yang sudah ada untuk *fuzzy logic*. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan sistem logika *fuzzy* tipe-1 yang sudah dibuat menggunakan Arduino IDE *non-library* dengan *toolbox fuzzy logic library* yang tersedia pada Simulink MATLAB. Hal ini bertujuan untuk mengukur keberhasilan dari sistem logika *fuzzy* tipe-1 yang telah diterapkan oleh penulis, sehingga dapat diterapkan pada rancangan sistem secara permanen untuk memenuhi kebutuhan sistem. Data uji diperoleh dari dua *input fuzzy* yaitu *error* dan Δ error dengan fungsi keanggotaan N adalah Negatif, Z adalah Zero, dan P adalah Positif. Fungsi keanggotaan dari *input fuzzy logic* ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. (a) Fungsi Keanggotaan Error. (b) Fungsi Keanggotaan Δ Error

Output dari *fuzzy* adalah nilai konstan *duty cycle* PWM untuk kompor listrik yang ditunjukkan oleh **Gambar 7**. Output *fuzzy logic* mengatur tingkat kepanasan kompor listrik dengan empat fungsi keanggotaan konstan *duty cycle* PWM 0%, 10%, 50%, dan 100%. Sistem *fuzzy logic* akan mengontrol panas pada kompor listrik berdasarkan lima *rules* yang digunakan. **Tabel V** menunjukkan *rules* yang digunakan sistem *fuzzy logic*.



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Output

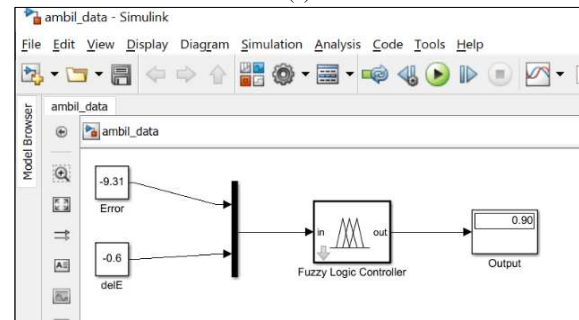
Tabel V. Fuzzy Rules

Input	Output Duty Cycle PWM	Keterangan
Jika Error = Zero	Low	Atur kompor listrik menyala dengan panas kecil
Jika Error = Positif	High	Atur kompor listrik menyala panas
Jika Error = Negatif	Zero	Atur kompor listrik mati
Jika Error = Zero dan Δ Error = Positif	Medium	Atur kompor listrik menyala dengan panas sedang
Jika Error = Zero dan Δ Error = Negatif	Zero	Atur kompor listrik mati

Gambar 8 menunjukkan proses pengambilan data pengujian logika *fuzzy* tipe-1 dengan membandingkan output logika *fuzzy non-library* pada Arduino dengan output logika *fuzzy library* pada Simulink MATLAB. **Tabel VI** menunjukkan data uji keluaran logika *fuzzy* tipe-1 *non-library* yang telah diterapkan oleh penulis menggunakan Arduino IDE dan keluaran *toolbox fuzzy logic library* pada Simulink MATLAB.



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Pengujian logika *fuzzy* tipe-1 dengan Arduino. (b) Pengujian logika *fuzzy* tipe-1 dengan Simulink MATLAB.

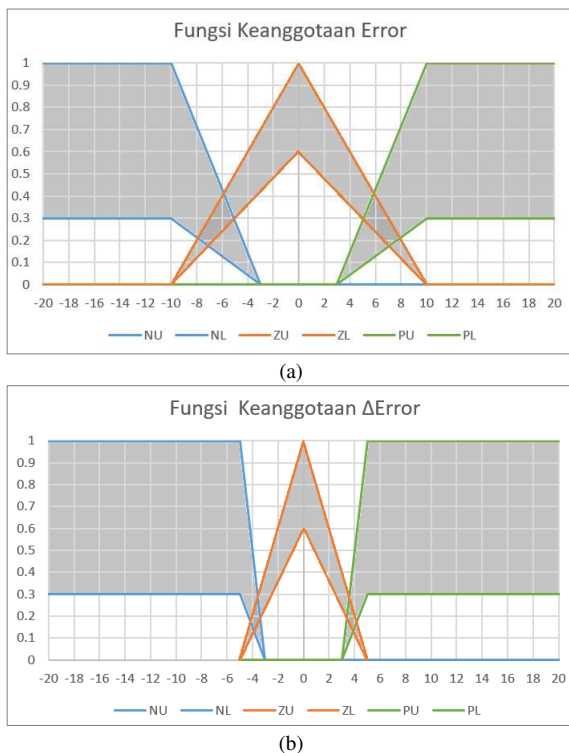
Tabel VI. Data Uji Logika *fuzzy* tipe-1

Input		Output Duty Cycle PWM (%)		Selisih Data
Error	Δ Error	Output Fuzzy Logic Non-Library	Output Fuzzy Logic MATLAB	
-9.31	-0.6	0.90	0.90	0
-22.5	0	0	0	0
-4.7	0	7.37	7.4	0.03
0	-0.9	10	10	0
4.52	0.12	31.20	31.20	0
5	0.2	37.69	37.69	0
7.84	-0.06	74.21	74.21	0
5.4	-6	26.36	26.4	0.04
9	-5	78.08	78.08	0
24	0.36	100	100	0
Rata-rata Selisih				0.007

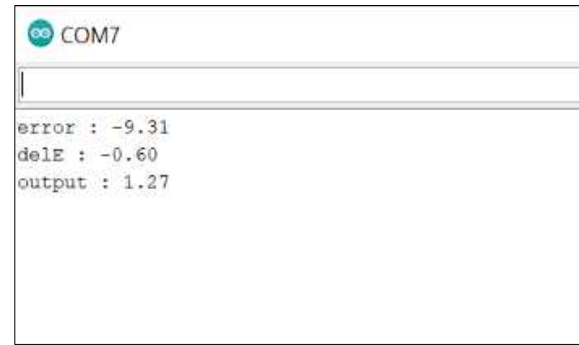
Berdasarkan hasil data uji pada **Tabel VI** yang dilakukan dengan beberapa percobaan dengan nilai *input* yang berbeda-beda, terdapat selisih data yang sangat kecil yaitu 0.007, hal ini membuktikan bahwa logika *fuzzy* tipe-1 yang dibuat oleh penulis menggunakan Arduino IDE tanpa menggunakan *library* logika *fuzzy* sudah sesuai dan dapat digunakan pada sistem kontrol pasteurisasi susu. Perbedaan output yang ada disebabkan karena hasil pembulatan dari output yang dihasilkan.

E. Pengujian Logika Fuzzy Tipe-2

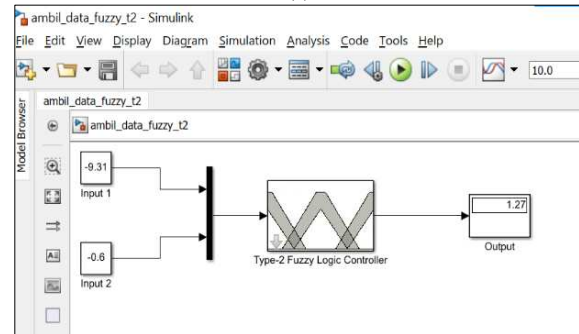
Sama halnya dengan logika fuzzy tipe-1, Sistem kontrol logika fuzzy tipe-2 telah direalisasikan pada penelitian ini dengan menggunakan Arduino IDE. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan sistem fuzzy logic yang sudah dibuat tanpa menggunakan library logika fuzzy tipe-2 dengan toolbox logika fuzzy tipe-2 yang ada pada Simulink MATLAB. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur keberhasilan dari sistem logika fuzzy tipe-2 (*non-library*) yang telah diterapkan oleh penulis, sehingga dapat diterapkan pada rancangan sistem. *Input*, *output*, dan juga *rules* yang digunakan pada logika fuzzy tipe-2 sama dengan yang digunakan pada logika fuzzy tipe-1 yang membedakan yaitu pada fungsi keanggotaan terdapat dua parameter yaitu *upper membership function* (UMF) dan *lower membership function* (LMF). Fungsi keanggotaan dari *input* logika fuzzy tipe-2 ditunjukkan pada **Gambar 9**. Lalu **Gambar 10** menunjukkan proses pengambilan data pengujian logika fuzzy tipe-2 dengan membandingkan *output* logika fuzzy tipe-2 *non-library* pada Arduino dengan *output* logika fuzzy tipe-2 library pada Simulink MATLAB. **Tabel VII** menunjukkan data uji keluaran logika fuzzy tipe-2 *non-library* yang telah diterapkan oleh penulis menggunakan Arduino IDE dan keluaran toolbox fuzzy logic library pada Simulink MATLAB.



Gambar 9. (a) Fungsi Keanggotaan Type-2 Error. (b) Fungsi Keanggotaan Type-2 Δ Error



(a)



(b)

Gambar 10. (a) Pengujian logika fuzzy tipe-2 dengan Arduino
(b) Pengujian logika fuzzy tipe-2 dengan Simulink MATLAB

Tabel VII6. Data Uji Logika fuzzy tipe-2

Input		Output Duty Cycle PWM (%)		Selisih Data
Error	Δ Error	Output Fuzzy Logic Non-Library	Output Fuzzy Logic MATLAB Library	
-9.31	-0.6	1.27	1.27	0
-22.5	0	0	0	0
-4.7	0	7.95	7.952	0.002
0	-0.9	10	10	0
4.52	0.12	26.61	26.61	0
5	0.2	32.03	32.03	0
7.84	-0.06	67.06	67.06	0
5.4	-0.12	36.64	36.643	0.003
9	-0.5	83.75	83.75	0
24	0.36	100	100	0
Rata-rata Selisih				0.005

Hasil data uji pada **Tabel VII** yang dilakukan dengan beberapa percobaan dengan nilai *input* yang berbeda-beda, terdapat rata-rata selisih data 0.005. Hal ini membuktikan bahwa logika fuzzy tipe-2 yang dibuat oleh penulis menggunakan Arduino IDE tanpa menggunakan library logika fuzzy sudah sesuai dan dapat digunakan pada sistem kontrol pasteurisasi susu. Rata-rata selisih data yang dihasilkan berasal dari pembulatan bilangan pada *output* yang dihasilkan.

F. Pengujian Keseluruhan Sistem Tanpa Adanya Gangguan (*Noise*)

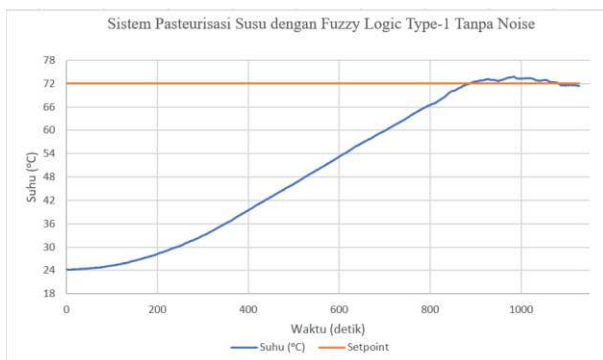
Pada tahapan ini logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 yang telah diterapkan pada sistem pasteurisasi susu diuji dengan tanpa adanya gangguan (*noise*). **Gambar 11** memperlihatkan proses pengujian sistem pasteurisasi susu.



Gambar 11. Proses Pengujian Sistem Pasteurisasi Susu

1) Keseluruhan Sistem Dengan Logika Fuzzy Tipe-1 Tanpa Diberi Gangguan

Pengujian keseluruhan sistem dengan logika *fuzzy* tipe-1 dilakukan dengan cara mengambil data suhu yang telah terbaca oleh sensor suhu dan waktu yang sedang berlangsung pada proses pasteurisasi susu dengan bantuan ekstensi *data streamer* pada *software* Microsoft Excel. Pengujian dilakukan menggunakan susu murni dengan volume air susu 1 liter. **Gambar 12** menunjukkan hasil dari sistem pasteurisasi susu menggunakan logika *fuzzy* tipe-1 tanpa diberi gangguan (*noise*).



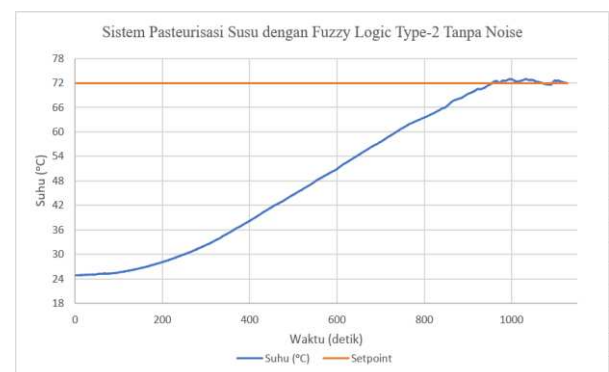
Gambar 12. Grafik Suhu Sistem Pasteurisasi susu dengan Logika *fuzzy* tipe-1 tanpa diberi *noise*

Pada pengujian yang telah dilakukan dengan suhu awal susu 24.312°C, didapatkan waktu naik (*rise time*) 729 detik atau 12.15 menit, nilai puncak (*maximum overshoot*) 1.81 yaitu suhu mencapai

nilai 73.81 °C dan waktu penyesuaian (*settling time*) 123 detik atau 2.05 menit. Dari hasil percobaan tersebut logika *fuzzy* tipe-1 dapat digunakan pada sistem pasteurisasi susu karena dapat menjaga suhu tetap pada *setpoint* 72°C selama 15 detik sesuai dengan metode pasteurisasi susu *High Temperature Short Time* (HTST) yang telah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional tentang susu pasteurisasi yang harus melewati proses pemanasan dengan metode HTST [5].

2) Keseluruhan Sistem Dengan Logika Fuzzy Tipe-2 Tanpa Diberi Gangguan

Sama halnya dengan logika *fuzzy* tipe-1, pengujian keseluruhan logika *fuzzy* tipe-2 dilakukan dengan cara mengambil data suhu yang telah terbaca oleh sensor suhu dan waktu yang sedang berlangsung pada proses pasteurisasi susu. Pengujian dilakukan menggunakan air susu murni dengan volume 1 liter. Hasil dari sistem pasteurisasi susu menggunakan logika *fuzzy* tipe-2 tanpa diberi gangguan (*noise*) ditunjukkan oleh **Gambar 13**.



Gambar 13. Grafik Suhu Sistem Pasteurisasi susu dengan Logika *fuzzy* tipe-2 tanpa diberi *noise*

Suhu awal dari air susu pada pengujian ini adalah 24.875°C, dari hasil pengujian penerapan logika *fuzzy* tipe-2 pada sistem pasteurisasi susu tanpa diberi *noise* didapatkan waktu naik (*rise time*) 795.6 detik atau 13.26 menit, nilai puncak (*maximum overshoot*) 0.875 yaitu suhu mencapai nilai 72.875°C dan waktu penyesuaian (*settling time*) 123 detik atau 2.05 menit. Dari hasil pengujian tersebut logika *fuzzy* tipe-2 unggul dalam hal nilai puncak (*maximum overshoot*) yang didapatkan yaitu bernilai 0.875 dibandingkan dengan logika *fuzzy* tipe-1 yang mendapatkan nilai puncak (*maximum overshoot*) 1.81. Tetapi logika *fuzzy* tipe-1 unggul dalam hal waktu naik (*rise time*) selama 729 detik atau 12.15 menit dibandingkan dengan *fuzzy* tipe-2 yang

mendapatkan waktu naik (*rise time*) 795.6 detik atau 13.26 menit.

Dalam hal penerapannya pada proses pasteurisasi susu yang mengharuskan suhu ditahan pada 72°C [4], pada percobaan pertama ini logika *fuzzy* tipe-2 lebih baik daripada logika *fuzzy* tipe-1 karena memiliki *maximum overshoot* yang lebih kecil daripada logika *fuzzy* tipe-1.

G. Pengujian Keseluruhan Sistem Dengan Adanya Gangguan (*Noise*)

Pada tahapan ini logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 yang telah diterapkan pada sistem pasteurisasi susu akan diuji dengan ditambahkan gangguan (*noise*). Pada pengujian ini pembacaan suhu oleh sensor suhu diberi gangguan dengan menambahkan nilai acak pada hasil pembacaan suhu dengan rentan (-0.2 sampai 0.2) untuk mengaburkan sedikit pembacaan sensor suhu sehingga hasil pembacaan suhu sedikit kabur dan tidak sama dengan keadaan sebenarnya.

Hal ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari logika *fuzzy* tipe-1 dan logika *fuzzy* tipe-2 ketika dihadapi dengan adanya gangguan, pada pengujian ini diharapkan logika *fuzzy* tipe-2 dapat mengungguli logika *fuzzy* tipe-1 karena logika *fuzzy* tipe-2 dapat merepresentasikan ketidakpastian lebih baik dari fungsi keanggotaan logika *fuzzy* tipe-1 dan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel [12].

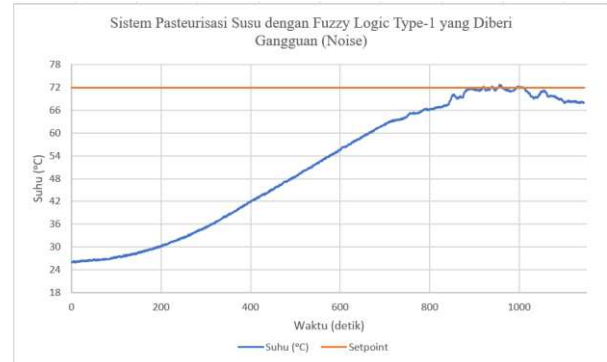
1) Keseluruhan Sistem Dengan Logika Fuzzy Tipe-1 Dengan Adanya Gangguan

Tahapan pengujian pada bagian ini sama dengan pengujian sebelumnya, tetapi hasil pembacaan suhu oleh sensor suhu ditambah dengan nilai acak dengan amplitudo 0.2 untuk mengaburkan sedikit pembacaan sensor suhu.

Gambar 14 menunjukkan hasil pengujian dari sistem pasteurisasi susu menggunakan logika *fuzzy* tipe-1 dengan adanya gangguan (*noise*).

Dari pengujian yang dilakukan dengan suhu awal air susu 25.912°C, didapatkan waktu naik (*rise time*) 790.8 detik atau 13.18 menit, dengan *maximum overshoot* 0.73 yaitu suhu mencapai nilai 72.73 dan waktu penyesuaian (*settling time*) 52.2 detik atau 0.87 menit, tetapi setelahnya suhu terus mengalami penurunan.

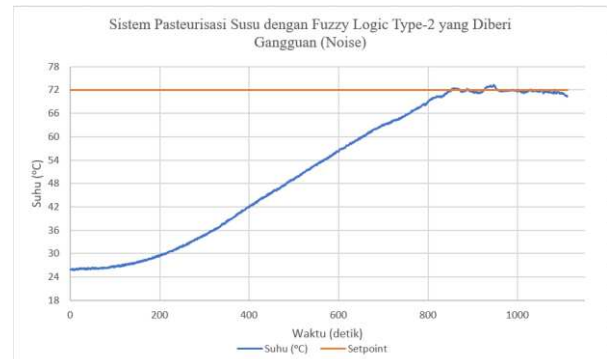
Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa logika *fuzzy* tipe-1 yang diterapkan pada sistem pasteurisasi susu, ketika mendapat gangguan (*noise*) tidak dapat mengontrol proses pasteurisasi susu dengan baik karena tidak dapat menahan suhu tetap pada *setpoint* yaitu 72°C selama 15 detik.



Gambar 14. Grafik Suhu Sistem Pasteurisasi susu dengan Logika *fuzzy* tipe-1 Dengan Adanya *Noise*

2) Keseluruhan Sistem Dengan Logika Fuzzy Tipe-2 Dengan Adanya Gangguan

Setelah pengujian logika *fuzzy* tipe-1 yang telah diterapkan pada sistem pasteurisasi susu dengan adanya gangguan (*noise*), berikutnya logika *fuzzy* tipe-2 akan diuji dengan lingkungan yang sama, yaitu dengan adanya gangguan pembacaan suhu oleh sensor suhu dengan ditambahkan nilai acak dengan amplitudo 0.2 pada hasil pembacaan suhu, sehingga pembacaan suhu oleh sensor sedikit kabur. Hasil pengujian dari penerapan logika *fuzzy* tipe-2 pada sistem pasteurisasi susu dengan adanya gangguan (*noise*) diperlihatkan oleh **Gambar 15**.



Gambar 15. Grafik Suhu Sistem Pasteurisasi susu dengan Logika *fuzzy* tipe-2 Dengan Adanya *Noise*

Pengujian dilakukan dengan suhu air susu awal 25.974°C, dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan *rise time* 693.6 detik atau 11.56 menit, dengan *maximum overshoot* 1.21 yaitu suhu mencapai 73.213°C dan *settling time* 34.8 detik atau 0.58 menit. Dari pengujian yang telah dilakukan pada tahap ini yang dapat dilihat pada **Gambar 15**, logika *fuzzy* tipe-2 lebih baik dari logika *fuzzy* tipe-1 dalam hal mencapai *rise time* yaitu 693.6 detik dan *settling time* selama 34.8 detik juga mampu menjaga suhu tetap maupun mendekati *setpoint* lebih lama dibandingkan dengan logika *fuzzy* tipe-1 ketika dihadapi dengan

adanya gangguan (*noise*) pada lingkungan yang sedang diuji.

Hasil pengujian ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh I. Maalej, dkk [18]. Yang menyatakan bahwa penggunaan *fuzzy type-2* memungkinkan sistem menggabungkan ketidakpastian seperti ketidakpastian pengukuran, gangguan internal, dll. Dan *interval logika fuzzy tipe-2* mengungguli logika *fuzzy tipe-1* bahkan dilakukan beberapa perubahan pada laju aliran umpan dilakukan. Pengujian ini juga diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh K. A. Naik, dkk [16]. Yang menunjukkan bahwa logika *fuzzy tipe-2* mengungguli logika *fuzzy tipe-1* dengan mengatasi ketidakpastian dalam aturan dan fungsi keanggotaan. Dan logika *fuzzy tipe-2* digunakan karena kapasitas penanganan ketidakpastiannya lebih luas.

IV. KESIMPULAN

Sistem logika *fuzzy tipe-1* dan logika *fuzzy tipe-2* telah berhasil dirancang dan diterapkan ke dalam sistem pasteurisasi susu dan dapat mengatur kestabilan suhu pada proses pasteurisasi susu metode HTST, sehingga suhu tetap pada nilai 72°C.

Pada pengujian tanpa diberi gangguan (*noise*), logika *fuzzy tipe-2* unggul dalam hal maximum overshoot yang dicapai yaitu bernilai 0.875, sedangkan logika *fuzzy tipe-1* unggul dalam hal *rise time* dengan waktu selama 729 detik. Pada pengujian kedua dengan adanya gangguan (*noise*), logika *fuzzy tipe-2* lebih baik dalam mencapai *rise time* dengan waktu 693.6 detik dan *settling time* selama 34.8 detik, serta mampu menjaga suhu tetap maupun mendekati *setpoint* lebih lama dibandingkan dengan *fuzzy logic type-1* ketika dihadapi dengan adanya gangguan (*noise*) pada lingkungan yang sedang diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. C. Wulandari, N. Nurdiana, dan Y. Rahmi, "Identifikasi Kesempurnaan Proses Pasteurisasi Ditinjau dari Total Bakteri serta Kandungan Protein dan Laktosa pada Susu Pasteurisasi Kemasan Produksi Pabrik dan Rumah Tangga di Kota Batu," *Maj. Kesehatan.*, vol. 3, no. 3, hal. 144-155, 2016.
- [2] L. A. Nababan, I. K. Suada, dan I. B. N. Swacita, "Ketahanan Susu Segar pada Penyimpanan Suhu Ruang Ditinjau dari Uji Tingkat Keasaman, Didih, dan Waktu Reduktase," *Indonesia Medicus Veterinus*, vol.3, no. 4, hal 274-282, 2014.
- [3] M. S. Prasetyo, A. Akbar, dan H. Istiqlaliyah, "Analisa Heat Transfer Alat Pasteurisasi Susu," *Jurnal Mesin Nusantara.*, vol. 3, no. 1, hal. 1-8, 2020.
- [4] E. N. Nawangsih, I. I. Rahmat, L. S. Halimah, dan D. N. Hidayat, "The Best Pasteurization Method In Reducing the Amount of Bacteria in Cow's Milk on People Dairy Farm," *Journal of Physics: Conference Series.*, vol. 1764, no. 1, 2021.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, "Susu Pasteurisasi," *SNI 3951:2018*, Jakarta, Indonesia, 2018.
- [6] M. Kayalvizhi, D. Manamalli, dan K. Bhuvanithaa, "Cascade Control of HTST Milk Pasteurization Process with and without Pre-Cooling Stage," in *Proceedings - 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, hal. 1807-1812, 2017.
- [7] H. T. Amallia dan T. Anggraini, "Pengaruh Cara Penyajian Dan Lamanya Waktu Pajanan Terhadap Kualitas Susu Formula Anak-Anak," *Jurnal Biota.*, vol.3, no. 1, hal. 43-47, 2017.
- [8] M. Aria, "Fuzzy Logic System for Coordinated Traffic Signal Control with Dynamic Phase Selection," *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 5, no. 1, hal. 1-10, 2017.
- [9] A. Malik, dan R. Hartono, "Sistem Otomatis Pembuatan Nutrisi Ideal untuk Tanaman Pakcoy Menggunakan Kendali Logika Fuzzy," *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 9, no. 2, hal 154-164, 2021.
- [10] Sabas, Sitanggang. (2014). Pengembangan Alogaritma Pengolahan Citra Untuk Mengontrol Kepadatan Lalu Lintas Pada Persimpangan Dua Arah Berbasis Logika Fuzzy, Bandung : UNIKOM.
- [11] B. Dai, R. Chen, dan R. C. Chen, "Temperature Control with Fuzzy Neural Network," in *Proceedings - 2017 IEEE 8th International Conference on Awareness Science and Technology, iCAST 2017*, hal 452-455, 2017.
- [12] L. Cherroun, M. Nadour, dan A.Kouzou, "Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Controllers for Autonomous Robotic Motion," in *Proceedings - 2018 3rd International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics, ICAAID 2019*, hal. 1-5, 2019.
- [13] J. M. Mendel, dan X. Liu, "Simplified Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems," *IEEE Transaction on Fuzzy Systems.*, vol. 21, no. 6, hal 1056-1069, 2013.
- [14] Y. Triwidyastuti, M. Nizar, H. Harianto, dan J. Jusak, "Pengendali Suhu pada Proses Pasteurisasi Susu dengan Menggunakan Metode PID dan Metode Fuzzy Sugeno," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer.*, vol.6, no. 4, hal. 355-362, 2019.
- [15] D. Phan, A. Bab-Hadiashar, M. Fayyazi, R. Hoseinnezhad, R. N. Jazar, dan H. Khayyam, "Interval Type 2 Fuzzy Logic Control for Energy Management of Hybrid Electric Autonomous Vehicles," *IEEE Transaction on Intelligent Vehicles.*, vol. 6, no. 2, hal. 210-220, 2021.
- [16] K. A. Naik dan C. P. Gupta, "Performance Comparison of Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Systems," in *4th IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control, ISPCC 2017*, hal. 72-76, 2017.
- [17] Maxim Integrated, "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer," *DS18B20 datasheet*, hal. 1-20, 2019.
- [18] I. Maalej, C. Rekik, D. B. H. Abid, dan N. Derbel, "Interval Type-2 Takagi-Sugeno-Kang Fuzzy Logic Approach for Three-Tank System Modeling," in *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, hal. 144-149, 2014.