Sistem Kontrol Tungku Api Otomatis Untuk Proses Pasteurisasi Susu Berbasis Logika *Fuzzy* Sugeno

Automatic Furnace Control System for Milk Pasteurization Process Based on Sugeno's Fuzzy Logic

Mokh.Sholihul Hadi[1], Bhima Satria Rizky Sugiono[2], Dityo Kreshna Argeshwara[3], Maulana As Shidiqi[4], Maulana Ludfi Arrohman[5], I Made Wirawan[6], Muhammad Alfian Mizar[7], Agung Witjoro[8]

[1,2,3,4,5,6]Jurusan Teknik Elektro, [7]Jurusan Teknik Mesin, [8]Jurusan Biologi, Universitas Negeri Malang

E-mail: [1]mokh.sholihul.ft@um.ac.id, [2]bhimasatria.1905366@students.um.ac.id, [3]dityo.kreshna.2105348@students.um.ac.id, [4]maulana.ahmad.1505366@students.um.ac.id, [5]maulana.ludfi.2205348@students.um.ac.id, [6]made.wirawan.ft@um.ac.id, [7]alfianmizar@um.ac.id, [8]agung.witjoro.fmipa@um.ac.id

Abstrak

Salah satu faktor berkurangnya gizi pada susu adalah kesalahan dalam proses pengolahannya, produk susu biasanya akan melalui proses pasteurisasi guna membunuh bakteri didalamnya dan menambah waktu simpan susu. Namun proses pasteurisasi yang salah justru akan mengakibatkan berkurangnya gizi yang terkandung didalam susu dan tak jarang akan membuat susu justru menjadi rusak. Sistem kontrol tungku api otomatis dirancang untuk menangani masalah yang ada dimana dengan menggunakan mekanikal servo, sistem akan secara otomatis mengatur bukaan katup tungku api untuk menjaga suhu pada set-point yang diinginkan, sehingga suhu akan terjaga dan protein pada susu tidak rusak karena suhu pada proses pemasakan yang terlalu tinggi. Berdasarkan hasil pengujian, bahwa sistem tanpa *Fuzzy* membutuhkan waktu selama 1 jam untuk dapat mencapai set-point, sedangkan sistem dengan *Fuzzy* hanya membutuhkan waktu 30 menit saja untuk mencapai set-point.

Kata kunci: Kontrol, *Fuzzy*, Sugeno, Pasteurisasi, Servo

Abstract

One of the causes of milk malnutrition is errors in the cooking process. Dairy products usually undergo a pasteurization process to kill the bacteria they contain and extend the shelf life of the milk. The automatic oven control system was developed to solve the existing problem. The system uses a servomechanism to automatically adjust the opening of the oven valves to keep the temperature at the desired setpoint, ensuring that milk temperature and protein are maintained. Not damaged by temperature. Based on boiling test results, the system without Fuzzy takes 1 hour to reach the set point, while the system with Fuzzy only takes 30 minutes to reach the set point.

Keywords: control, Fuzzy, Sugeno, Pasteurization

1. PENDAHULUAN

Laju pertumbuhan penduduk dapat menyebabkan naiknya jumlah kebutuhan pangan masyarakat di Indonesia. Di kota Malang kususnya, pertumbuhan penduduk sejak 10 tahun terakhir mengalami penambahan sekitar 23.567 jiwa menurut BPS kota Malang. Oleh sebab itu ketersediaan pangan perlu ditingkatkan sehingga mampu memenuhi kebutuhan hidup masyarakat. Selain itu kualitas pangan juga perlu dijaga sehingga mampu memenuhi kebutuhan gizi yang tinggi seperti empat sehat dan lima sempurna. Komoditi pangan yang banyak mengandung gizi

adalah susu. Susu merupakan minuman favorit masyarakat Indonesia. Tercatat pada tahun 2019 konsumsi susu masyarakat Indonesia mencapai 16,23 liter/kapita atau sekitar 5-7% tiap tahunnya dan mengalami kenaikan di tiap tahunnya[1]. Selain itu menurut Badan Pusat Statistika (BPS) per 2016 tercatat ada sebanyak 533.933 ekor sapi perah dengan total produksi susu sebanyak 912.735 ton[2]. Dari data tersebut terlihat bahwa masyarakat Indonesia mulai sadar akan gizi dan pentingnya susu. Namun jika tidak diimbangi dengan pengolahan yang mumpuni, maka tidak menutup kemungkinan Indonesia akan mengalamui defisit jumlah produk susu, yang diproyeksikan kebutuhan susu pada tahun 2020 meningkat hingga mencapai 1.142.393 ton[3].

Namun demikian untuk menambah produksi susu tidaklah mudah banyak permasalahan yang dialami peternak sapi perah atau para produsen susu murni. Permasalahan yang dialami pengusaha susu murni saat ini adalah bagaimana meningkatkan kualitas susu dan menjaga susu tetap segar dan steril dengan melalui proses pasteurisasi. Proses pastirisasi sendiri merupakan proses pemanasan susu menggunakan suhu dibawah 100 derajat Celsius dalam waktu singkat, namun biasanya proses pasteurisasi hanya mampu menjaga susu tetap segar selama 8 sampai 10 hari[4]. Proses pasteurisasi yang kurang maksimal juga akan mengurangi masa simpan susu, suhu dalam proses pasteurisasi yang biasa dilakukan belum mampu membunuh bakteri, yang diduga karena suhu yang diberikan selama proses pasteurisasi belum cukup tinggi sehingga bakteri dalam susu masih bisa bertahan [5].

Biasanya proses pasteurisasi dilakukan menggunakan tungku api manual yang didalamnya tidak ada sistem pengontrol suhu. Tungku api manual pada umumnya hanya menggunakan knop manual yang berfungsi untuk mengatur aliran gas untuk mengurangi nyala api sehingga sulit untuk mencapai suhu yang dianjurkan. Pemanasan susu melebihi suhu yang dianjurkan mengakibatkan kualitas susu menurun sehingga mengurangi kadar gizi didalamnya. Tidak jarang juga pemanasan susu dibawah suhu yang dianjurkan sehingga bakteri didalam susu masih hidup dan mengakibatkan susu cepat basi pada saat didistribusikan.

Beberapa penelitian terkait proses pasteurisasi pernah dikembangkan seperti sistem Pengendali Suhu Pada Proses Pasteurisasi Susu Dengan Menggunakan Metode Pid Dan Metode *Fuzzy* Sugeno, dimana dijelaskan pada sistem tersebut menggunakan control *Fuzzy* dan PID yang menghasilkan sebuah sistem pasteurisasi dengan nilai *error* kendali sebesar 1%[6], namun pada penelitian tersebut tidak disebutkan berapa liter susu yang mampu ditampung pada alat pasteurisasi, selain itu luaran *Fuzzy* metode sugeno yang digunakan hanya tiga buah fungsi keanggotaan saja yaitu **besar, kecil,** dan **mati,** sehingga pengambilan keputusan terkait luaran *Fuzzy* kurang presisi.

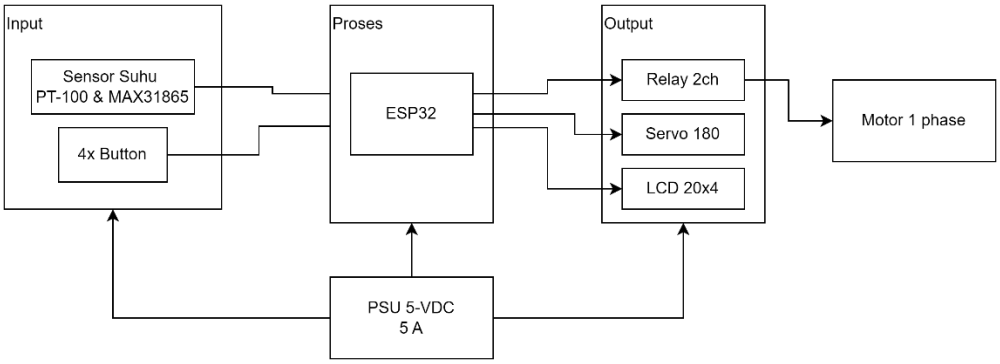
Penelitian lain yang membhasa tentang alat pasteurisasi adalah Pengontrol Suhu Pada Pasteurisasi Susu Di Kube Psp Desa Kemiri Kecamatan Jabung Malang, dimana pada penelitian tersebut dijelaskan proses pasteurisasi menggunakan alat yang dirancang menggunakan kontrol PID, dimana pada sistem tersebut untuk mencapai set-point pada suhu 65^{o}C membutuhkan waktu 2 jam 56 menit[7]. Berdasarkan penelitian terdahulu, peneliti merancang sebuah alat pasteurisasi susu yang mampu menampung susu dalam jumlah besar yaitu 20 liter, dan dengan proses pemasakan yang cukup singkat menggunakan kontrol pemasakan otomatis berbasis *Fuzzy* metode sugeno dengn 2 buah masukan dengan masing-masing 3 fungsi keanggotaan dan sebuah luaran dengan 5 buah fungsi keanggotaan, sehingga pengambilan keputusan terkait control yang dilakukan sistem menjadi lebih presisi.

Sistem dirancang untuk mampu menjaga suhu pada set-point antara 63-100 derajat Celsius dengan durasi pemasakan selama 30 menit menggunakan logika *Fuzzy* metode Sugeno, sehingga protein pada susu tidak rusak serta mampu membunuh bakteri agar susu bisa lebih tahan lama. *Fuzzy* metode Sugeno dipilih karena memiliki akurasi dan adaptasi yang cukup baik saat digunakan dalam sistem kontrol loop tertutup.

2. METODE PENELITIAN

Sistem kontrol tungku api otomatis untuk proses pasteurisasi susu murni yang didesain ini berupa sebuah teknologi otomasi dengan menggunakan mikrokontroler yang berguna untuk

mengatur servo. Servo diletakkan pada katup pengatur gas LPG pada tungku api, dimana perputaran servo akan mengatur besar kecilnya bukaan pada katup gas LPG. Ukuran besar kecilnya api tergantung dari proses pasteurisasi yang diinginkan, dimana untuk suhu maksimal berkisar antara 100 derajat selsius yang berarti sudut servo akan dibuka penuh hingga 180 derajat. Kemudian untuk menurunkan suhu api, sudut servo akan dikecilkan hingga mencapai batas suhu yang dikehendaki. Saat suhu sudah mencapai set-point yang dikehendaki, maka system akan secara otomatis mengatur katup gas LPG sehingga suhu api tetap terjaga pada set-point. Ilustrasi system kerja dari tungku api otomatis dapat dilihat pada gambar 1**.**



Gambar 1 Ilustrasi sistem kerja tungku api otomatis

2.1 Fuzzy Metode Sugeno

Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem *Fuzzy* metode Sugeno dengan dua buah masukan berupa nilai *error* dan Δ*error* yang dihasilkan dari hasil pembacaan sensor suhu. Untuk mendapatkan nilai masukan *error* dan Δ*error* digunakan rumus matematika sebagai berikut.

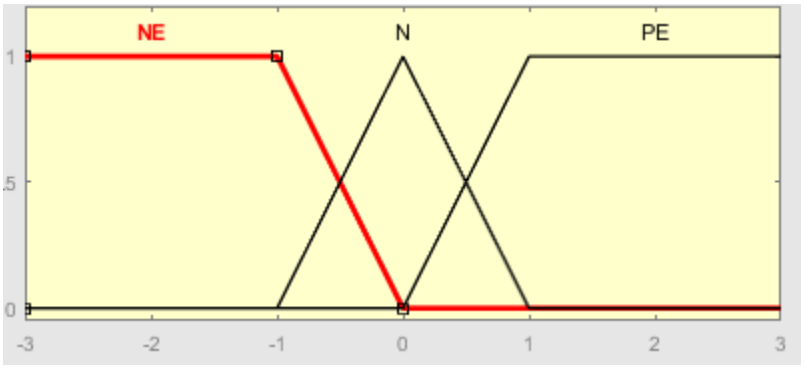
$$Error(t) = temperature\ (t) - Sp \qquad (1)$$

$$\Delta Error = Error(t) - Error(t-1) \qquad (2)$$

Dimana :

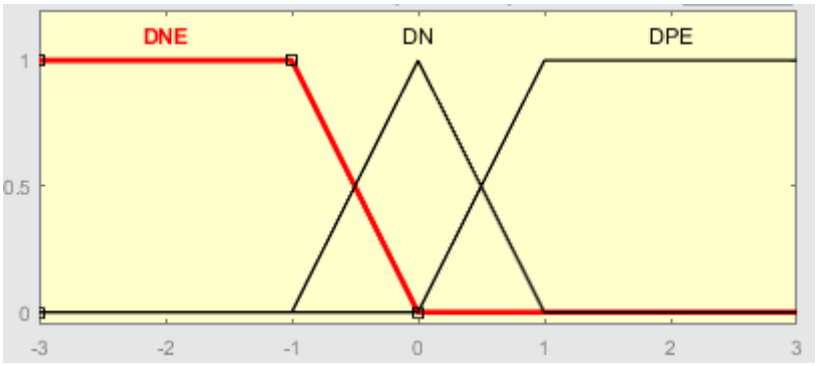
Error(t)	= Error pada saat waktu t
Temperature	= suhu pada waktu t
ΔError	= Perbedaan error
Sp	= Set-point
Error(t-1)	= Error sebelum waktu t

Rumus diatas digunakan untuk menentukan nilai masukan dari *Fuzzy* metode Sugeno yaitu masukan *error* dan *Δerror*. Pada perancangan *Fuzzy* digunakan fungsi keanggotaan dfengan bentuk bahu dan segitiga yang digunakan untuk masukan *error*. Gambar 2 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk masukan *error.*



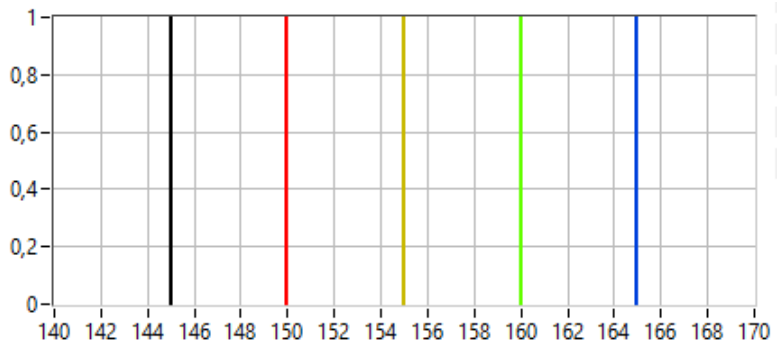
Gambar 2 Fungsi keanggotaan *error*

Untuk masukan *error* memiliki rentang domain sebesar -3 hingga +3 dimana rentang tersebut dalam satuan ^{o}C. Sedangkan untuk masukan kedua merupakan *∆error* dimana untuk fungsi keanggotaan digunakan bentuk bahu dan segitiga. Gambar 3 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk masukan *∆error.*



Gambar 3 Fungsi keanggotaan *∆error*

Untuk masukan *∆error* memiliki rentang domain yang sama dengan *error* yaitu antara -3 sampai dengan +3. Sedangkan luaran dari *Fuzzy* metode sugeno adalah sebuah fungsi keanggotaan dengan bentuk *single toon* yang merepresentasikan sudut dari motor servo. Dimana tiap buah fungsi keanggotaan memiliki nilai sudut servo yang konstan atau tetap. Untuk fungsi keanggotaan luaran berupa sudut servo dapat dilihat pada gambar 4.

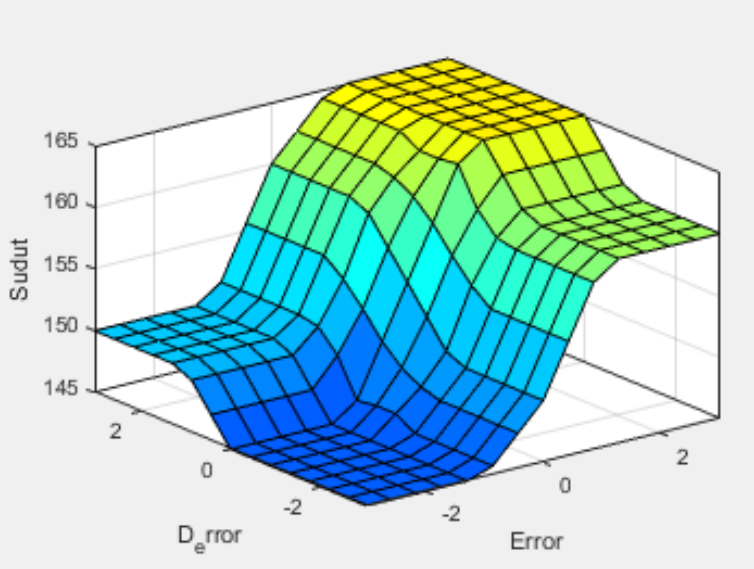


Gambar 4 Fungsi keanggotaan sudut servo

Dari dua buah masukan dan sebuah luaran maka dihasilkan 9 buah aturan *Fuzzy* yang direpresentasikan dengan fungsi IF-THEN [8,9], sesuai dengan aturan *Fuzzy* metode sugeno, dimana untuk table aturan *Fuzzy* dapat dilihat pada table 1, sedangkan untuk *surface Fuzzy* dapat dilihat pada gambar 5.

Tabel 1 Tabel aturan dasar *Fuzzy*

Masukan	**NE**	**N**	**PE**
DNE	Very Big	Big	Small
DN	Very Big	Normal	Very Small
DPE	Big	Small	Very Small



Gambar 5 *Surface Fuzzy* sugeno

Terlihat bahawa permukaan *Fuzzy* yang terbentuk berdasarkan rule IF-THEN yang telah diberlakukan terhadap masukan *error* dan Δ*error* dengan sebuah luaran *Fuzzy* berupa sudut servo, sesuai dengan gambar 5 dapat terlihat bahwa dengan masukan *error* dan Δ*error* pada domain negative maka akan menghasilkan sudut dengan domain *very big* dan seterusnya hingga saat domain masukan *error* dan Δ*error* pada domain positif, maka sistem akan memeberikan luaran berupa sudut servo dengan domain *very small*.

2.2 DeFuzzyfikasi

De*Fuzzy*fikasi merupakan sebuah metode dimana memiliki fungsi untuk merubah atau memetakan crips himpunan *Fuzzy* menjadi himpunan actual atau nilai tetap. Masukan dalam proses de*Fuzzy*fikasi merupakan suatu himpunan anggota *Fuzzy* yang diperoleh melalui kompisis aturan *Fuzzy*. Untuk menentukan nilai actual sebuah sistem *Fuzzy*, dapat menggunakan berbagai macam metode, seperti MoM, SoM, Centroid, Bisektor, dan Average. Pada penelitian ini digunakan metode de*Fuzzy*fikasi average [10] dengan permasaan sebagai berikut.

$$WA = \frac{\Sigma ai\ zi}{\Sigma\ ai} \qquad (3)$$

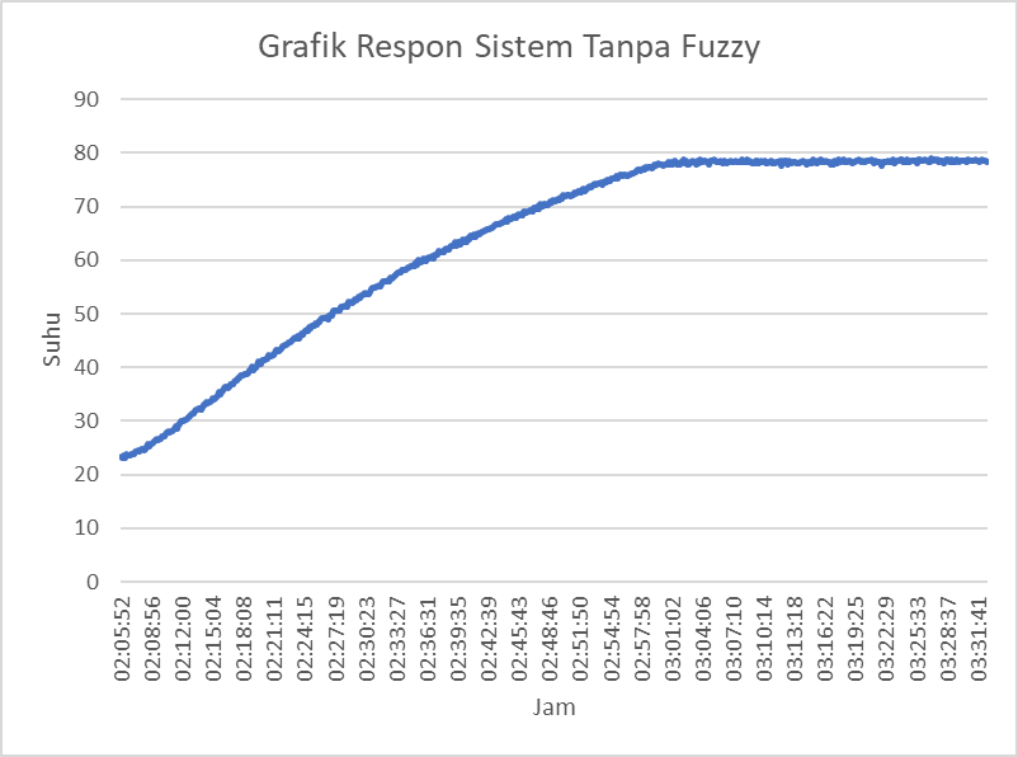
Setelah didapatkan nilai actual beruap suddut servo, mikrokotnroler kemudian akan memberikan sinyal PWM kepada servo untuk bergerak sesuai dengan hasil de*Fuzzy*fikasi. Sistem akan bekerja secara otomatis menyesuaikan dengan suhu pada bejana wadah pemasakan untuk susu sapi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai hasil dan analisa dari sistem kontrol tungku api tomatis berbasis logika *Fuzzy* berdasarkan pengujian secara langsung. Pengujian meliputi respon sistem menuju *steady state* terhadap waktu pemanasan sebelum dan sesudah sistem *Fuzzy* diterapkan.

3.1 Pengujian Sistem Tanpa Fuzzy

Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat respon sistem kontrol sebelum diberikan logika *Fuzzy*, dimana pengujian dilakukan dengan cara melakukan pengamatan terhadap hasil kontrol sistem selama 1 jam 30 menit dengan jumlah cairan susu sebanyak 20 liter. Kemudian diamati apakah sistem mampu menjaga suhu pada set point yang ditentukan dan berapa lama waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai set-point. Gambar 6 menampilkan data hasil pengujian siste tanpa *Fuzzy*.

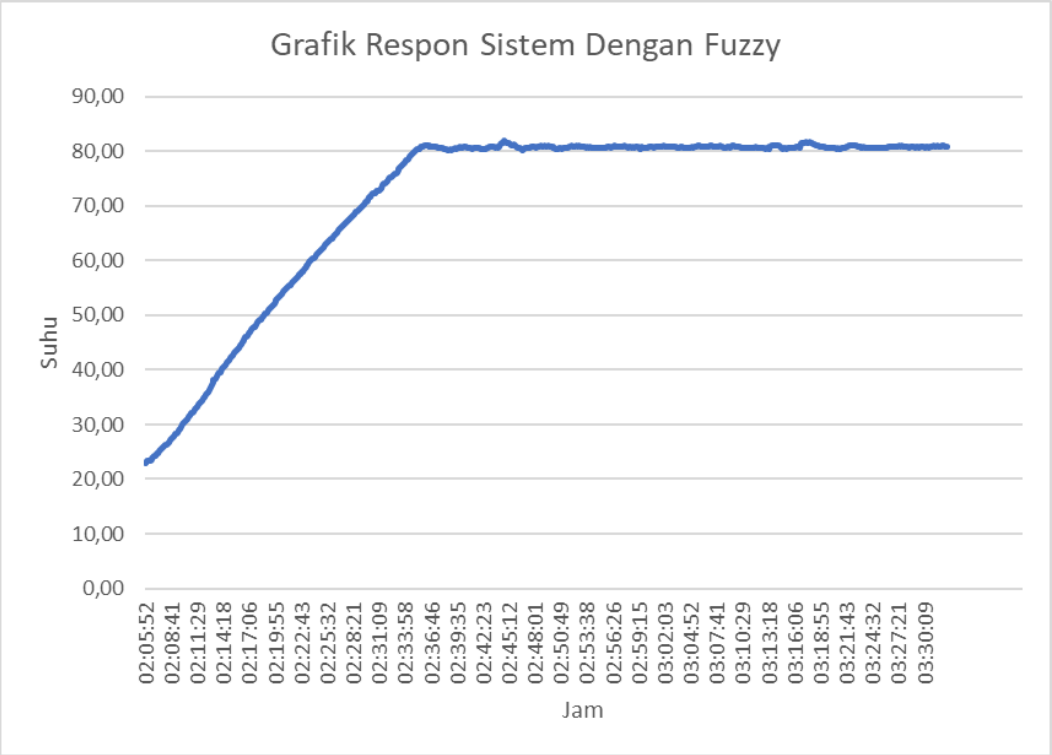


Gambar 6 Respon sistem tanpa kontrol *Fuzzy*

Pengujian dilakukan dengan menyalakan tungku api selama 1 jam 30 menit dimana, terlihat pada grafik, untuk jam 02.05.52 suhu awal yang terbaca oleh sensor adalah di rentang 20^{o}C, kemudian sistem dijalankan hingga menuju waktu tunak, dimana untuk menuju se-point yang ditentukan yaitu pada suhu 80^{o}C membutuhkan waktu sekitar 1 jam, pada pengujian tanpa kontrol *Fuzzy*, sistem tidak mengalami overshoot, dan langsung menuju pada steady state dengan rentang suhu 78-80^{o}C pada waktu menujukkan pukul 03.04.06. Pada pengujian tanpa *Fuzzy* terlihat sistem cukup lama untuk mampu menuju set-point.

3.2 Pengujian Sistem Menggunakan Fuzzy

Pengujian kedua merupakan pengujian sistem dengan kontrol *Fuzzy* yang mana pengujian bertujuan untuk melihat respon sistem setelah diterapkan logika *Fuzzy*. Pengujian dilakukan selama 1 jam 30 menit dengan suhu awal pengujian adalah 23^{o}C dan jumlah air susu sebanyak 20 liter. Kemudian diamati bagaimana respon sistem menuju stadey state dan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai set-point dengan mengimplementasikan logika *Fuzzy* dalam kontrolnya. Gambar 7 menampilkan grafik respon sistem dengan logika *Fuzzy*.



Gambar 7 Grafik respon sistem dengan *Fuzzy*

Pengujian dilakukan dengan menyalakan tungku api yang terdapat katup servo didalamnya selama 1 jam 30 menit dimana dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa sistem mengalami waktu naik selama kurang lebih 30 menit dimulai dari pukul 02.05.52 dan mencapai overshoot pada pukul 02.36.46 dan menuju steady state pada pukul 02.39.35. Suhu pada waktu t=0 adalah sekitar 20^{o}C dan naik menuju suhu set-point sebesar 80^{o}C. Sistem kontrol yang terintegrasi *Fuzzy* terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menuju set-point lebih cepat bila dibandingkan sistem kontrol tanpa *Fuzzy* dimana sistem dengan *Fuzzy* hanya membutuhkan waktu 30 menit saja untuk menuju nilai set-point. Namun sistem kontrol *Fuzzy* tersebut masih memiliki kelemahan dimana terdapat nois pada saat tertentu, seperti halnya pada pukul 02.45.12 terlihat bahwa suhu yang terbaca oleh sensor naik melebihi set-point namun demikian setelah beberapa saat sistem Kembali lagi menuju nilai set-point. Kondisi kenaikan suhu tersebut dapat terjadi dikarenakan delay atau waktu tunggu kontrol *Fuzzy* dalam mengkalkulasi aksi yang akan dilakukan pada kontrol katup servo.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem kontrol tungku otomatis berbasis logika *Fuzzy* merupakan sebuah sistem kontrol yang berguna untuk memasak susu sapi dimana terdapat kontrol logika *Fuzzy* yang berguna untuk mengkalkulasi aksi dari sistem kontrol yang sesuai dengan kondisi yang terbaca oleh sensor. Dimana dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol tungku api tanpa menggunakan *Fuzzy* memiliki respon sistem yang lebih lama jika dibandingkan dengan sistem kontrol menggunakan *Fuzzy*, dimana terlihat bahwa sistem tanpa *Fuzzy* membutuhkan waktu selama 1 jam untuk dapat mencapai set-point, sedangkan sistem dengan *Fuzzy* hanya membutuhkan waktu 30 menit saja untuk mencapai set-point. Namun kelemahan dari sistem kontrol *Fuzzy* dengan metode sugeno yang telah dirancang adalah masih memiliki nois kontrol yang diakibatkan oleh delay dari kalkukalasi atau proses pada mikrokontroler.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anggraeni, E.D., Hidayat, S.I. And Amir, I.T., 2021. Persepsi Dan Minat Masyarakat Terhadap Konsumsi Susu. *Jurnal Social Economic Of Agriculture*, 10(1), Pp.41-49.

[2] Wulandari, S. And Bowo, P.A., 2019. Pengaruh Produksi, Konsumsi Dan Harga Susu Sapi Nasional Terhadap Impor Susu Sapi. *Economic Education Analysis Journal*, 8(3), Pp.1130-1146..

[3] Mardhatilla, F., 2018. Potensi Usaha Ternak Sapi Perah Rakyat Di Dataran Rendah. *Logika Jurnal Ilmiah Lemlit Unswagati Cirebon*, *22*(3), Pp.14-21..

[4] Apriliyani, M.W. And Apriliyanti, M.W., 2018. Kualitas Fisik Dan Sensoris Produk Susu Pasteurisasi Pada Suhu Dan Waktu Transportasi Dalam Distribusi Pemasaran. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak (Jitek)*, *13*(1), Pp.46-53.

[5] Wulandari, E.Y., Hindun, I. And Husamah, H., 2020, March. Pengaruh Suhu Pasteurisasi Dan Lama Penyimpanan Pada Refrigerator Terhadap Jumlah Koloni Bakteri Susu Sapi. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi*.

[6] Triwidyastuti, Y., Nizar, M., Harianto, H. And Jusak, J., 2019. Pengendali Suhu Pada Proses Pasteurisasi Susu Dengan Menggunakan Metode Pid Dan Metode *Fuzzy* Sugeno. *Jtiik (Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer)*, *6*(4), Pp.355-362.

[7] Saleh, C. And Hartono, B.P., 2019. Pengontrol Suhu Pada Pasteurisasi Susu Di Kube Psp Desa Kemiri Kecamatan Jabung Malang. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, *9*(2), Pp.1-9..

[8] Bisba, U.P., Mulyana, E., Ramdhani, M.A. and Irfan, M., 2019, July. The Implementation of The *Fuzzy* Sugeno Algorithm On an IoT-Based Temperature and Humidity Monitoring System. In *2019 IEEE 5th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)* (pp. 1-6). IEEE.

[9] Zhang, J., Wang, X. and Shao, X., 2020. Design and real-time implementation of Takagi–Sugeno *Fuzzy* controller for magnetic levitation ball system. *IEEE Access*, *8*, pp.38221-38228.

[10] Robson, W., Ernawati, I. and Nugrahaeni, C., 2021. Design of Multisensor Automatic Fan Control System Using Sugeno *Fuzzy* Method. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, *2*(4), pp.302-306.