

RANCANG BANGUN FERMENTOR YOGURT DENGAN SISTEM KONTROL LOGIKA FUZZY MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA32

Yogurt Fermenter Design with Fuzzy Logic Control System Using Microcontroller ATmega32

Dimas Firmanda Al Riza, Retno Damayanti, Yusuf Hendrawan

Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 65145
Email: dimasfirmanda@ub.ac.id

ABSTRAK

Yogurt merupakan produk olahan susu terfermentasi yang akhir-akhir ini mulai banyak disukai oleh masyarakat. Pada pengolahan susu menjadi yogurt, fermentor digunakan sebagai alat utama. *Lactobacillus sp.* dan *Streptococcus sp.* merupakan dua spesies bakteri yang biasa digunakan dalam proses fermentasi yogurt. Kedua jenis bakteri ini tumbuh dengan baik pada suhu yang spesifik yaitu antara 40–45 °C, sehingga pengendalian suhu pada operasi fermentor merupakan hal yang penting agar proses fermentasi dapat berjalan secara cepat dan baik. Proses fermentasi merupakan proses yang memiliki tingkat ketidakpastian yang tinggi dan merupakan sistem *non-linear time variant*, sehingga desain sistem kontrol klasik akan sulit untuk diterapkan. Untuk mengatasi hal ini sistem kontrol cerdas dapat diimplementasikan pada pengendalian suhu fermentor yogurt. Salah satu dari metode sistem kontrol cerdas yang dapat digunakan adalah sistem kontrol dengan logika fuzzy. Pada penelitian ini telah dilakukan rancang bangun sistem pengendalian suhu berbasis algoritma fuzzy pada fermentor yogurt. Algoritma sistem kendali diintegrasikan dalam mikrokontroler ATmega16 (untuk logika ON-OFF) dan ATmega32 (untuk logika fuzzy). Hasil uji sistem pengendalian suhu fermentor menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritma fuzzy sistem pengendalian lebih stabil dengan *settling time* selama 1 jam 20 menit dan rata-rata *error* sebesar -0,36 °C. Proses fermentasi selama 16 jam menggunakan fermentor dengan kontroler fuzzy menghasilkan yogurt dengan pH sebesar 3,66, jumlah mikroba *Lactobacillus sp.* sebanyak $4,85 \times 10^8$ cfu/mL, dan *Streptococcus sp.* sebanyak $1,34 \times 10^6$ cfu/mL.

Kata kunci: Fermentasi, yogurt, susu sapi, fuzzy, kontrol suhu

ABSTRACT

Yogurt is milk fermented product that becomes popular recently. In yogurt processing, fermenter is the main device. *Lactobacillus sp.* and *Streptococcus sp.* are two probiotic bacteria species that are common to be used in yogurt fermentation process. Both bacteria grow well in a specific range of temperature between 40–45 °C, so temperature control in fermenter operational becomes one of the important things to ensure speed and quality of fermentation process. Fermentation process is a process with high degree of uncertainty and categorized as non-linear time invariant system. Thus, classical control system method is difficult to be implemented. To overcome this issue, intelligent control system can be implemented to yogurt's fermenter temperature control. One of intelligent control system method that can be implemented is fuzzy logic-based control system. In this study, fuzzy control system has been designed and implemented for fermenter temperature control. Control system algorithm is integrated in ATmega16 (for On-Off logic control) and ATmega32 (for Fuzzy Logic control) microcontrollers. Experimental results of fermenter control system shows that temperature profile of fermenter with fuzzy logic control system is more stable by settling time around an hour and 15 minutes and error average of -0.36 °C. Fermentation process for 16 hours with fuzzy logic controller produce yogurt with pH value of 3.66, total number of *Lactobacillus sp.* is 4.85×10^8 cfu/mL and *Streptococcus sp.* is 1.34×10^6 cfu/mL.

Keywords: Fermentation, yogurt, cow milk, fuzzy, temperature control

PENDAHULUAN

Yogurt merupakan produk olahan susu terfermentasi yang telah dikenal oleh masyarakat luas baik karena rasanya maupun manfaatnya bagi kesehatan. Industri pengolahan yogurt dikembangkan dengan skala yang beragam mulai dari industri rumah tangga sampai industri dengan skala yang besar. Daerah dengan hasil produk susu (susu sapi) yang besar memiliki potensi untuk pengembangan jenis industri olahan susu terfermentasi ini.

Kecamatan Pakis dan Jabung, Malang, Jawa Timur merupakan kecamatan binaan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya yang memiliki berbagai potensi hasil pertanian dan peternakan. Diantara potensi hasil peternakan, jumlah sapi perah yang dternak di Kecamatan Jabung menunjukkan kuantitas yang jauh lebih besar dari Kecamatan Pakis (BPS, 2004). Usaha sapi perah sendiri merupakan usaha inti Koperasi Agro Niaga (KAN/KUD) Jabung dan setiap harinya sekitar 26000 L susu dihasilkan dari kurang lebih 1500 peternak (Wahab, 2012). Sehingga dapat dikatakan bahwa potensi pengembangan industri yogurt di daerah Jabung sangat besar.

Proses pembuatan yogurt dapat dikatakan relatif sederhana. Bahan-bahan pembuatan yogurt diantaranya adalah susu, kultur *starter* (*Lactobacillus sp.* dan *Streptococcus sp.*), dan gula. Sedangkan peralatan yang digunakan antara lain adalah peralatan pemasak (untuk pasteurisasi) dan wadah untuk fermentasi. Proses pembuatan yogurt diawali dengan pasteurisasi susu yang dapat dilakukan dengan metode *Low Temperature Long Time* (LTLT) atau *High Temperature Short Time* (HTST). Waktu penyimpanan susu akan lebih lama jika metode HTST digunakan, namun kandungan protein lebih banyak jika metode LTLT yang digunakan (Abubakar dkk., 2001). Setelah dilakukan pasteurisasi kemudian kultur starter yang mengandung bakteri untuk fermentasi kemudian dimasukkan setelah susu mendingin dan proses fermentasi dijaga dalam suhu sekitar 42 °C yang merupakan suhu tipikal untuk proses fermentasi yogurt (Yildiz, 2010).

Dalam skala kecil, yogurt dapat dibuat dengan mudah. Namun, dalam skala yang lebih besar perlu diperhatikan masalah distribusi dan pengendalian suhu serta pH. Untuk mengatasi hal ini, maka desain sistem fermentor yang baik perlu dilakukan. Pada proses pembuatan yogurt ada dua hal utama yang perlu dilakukan yaitu: proses pasteurisasi susu pada suhu antara 60-95 °C (tergantung metode pasteurisasi yang dipilih) dan proses fermentasi pada suhu 40-45 °C. Pada kebanyakan pengolahan yogurt proses ini dilakukan terpisah dengan alat yang berbeda sehingga kurang efisien. Tetapi ada juga beberapa peneliti yang menjadikan proses ini dalam satu tangki fermentor (Yuniarti dkk., 2009).

Pengendalian suhu pada fermentor yogurt pada umumnya menggunakan sistem kontrol ON-OFF meskipun beberapa peneliti telah mengembangkan sistem fermentor dengan logika kontrol PI (Yuniarti dkk., 2009). Sistem kontrol ON-OFF akan memberikan profil suhu yang selalu berubah-ubah di sekitar set point sedangkan sistem kontrol PID konvensional akan memberikan respon sistem yang baik, akan tetapi model matematika sistem yang presisi diperlukan untuk desainnya. Selain sistem kontrol konvensional, sistem kontrol cerdas juga berpotensi untuk diaplikasikan pada pengendalian suhu pada fermentor yogurt. Di antara sistem kontrol cerdas yang dapat digunakan adalah sistem kontrol berbasis logika fuzzy yang diklaim memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sistem kontrol konvensional.

Pada desain sistem kontrol konvensional pemodelan matematika sistem atau proses perlu dilakukan secara presisi dan sistem yang didesain harus merupakan sistem yang *Linear Time Invariant* (LTI). Biosistem yang mengandung organisme hidup memiliki dinamika proses yang *non linear* dan *time varying*, kondisi inisial proses juga tidak konstan sehingga re-produksi proses yang presisi sulit untuk dicapai (Birle dkk., 2013). Selain itu penggunaan peralatan/komponen berupa aktuator ataupun peralatan lainnya yang tidak standar mengakibatkan pemodelan matematika sistem menjadi sulit. Hal ini menyebabkan metode kontrol klasik yang mengasumsikan sistem yang ditangani adalah sistem *Linear Time Invariant* (LTI) tidak akan dapat menghasilkan sistem kontrol yang presisi.

Sistem kontrol dengan logika fuzzy tidak memerlukan pengetahuan tentang model matematika sistem secara presisi akan tetapi aksi pengendalian dilakukan dengan memasukkan logika atau intuisi operator kepada sistem kontrol. Sistem Kontrol Fuzzy merupakan *tool* yang sangat baik untuk mengimplementasikan pengetahuan operator/manusia terhadap sistem ke dalam suatu logika kontrol sehingga ketidakpastian pada sistem dapat ditangani (Birle dkk., 2013).

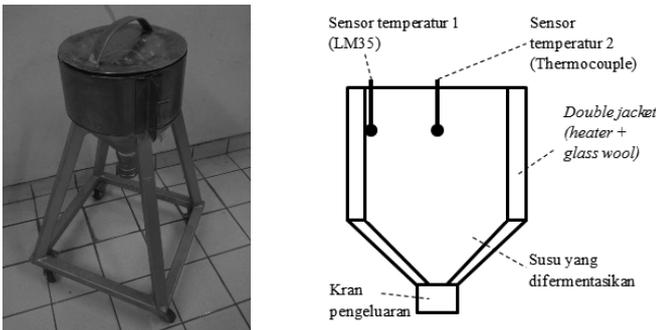
Sistem pengendalian berbasis logika fuzzy telah banyak dikembangkan untuk pengendalian suhu dengan menggunakan berbagai jenis piranti sistem kontrol (Kavitha dkk., 2012). Akan tetapi pengendalian suhu pada fermentor yogurt dengan logika fuzzy masih jarang atau belum pernah dilakukan. Sistem kontrol dengan logika fuzzy juga dapat diintegrasikan pada mikrokontroler (Moorthy dkk., 2006) sehingga bisa menjadi sebuah sistem yang didedikasikan untuk tujuan tertentu (Nhivekar dkk., 2011). Pada penelitian ini dikembangkan sistem pengendalian suhu pada fermentor yogurt berbasis logika fuzzy yang diintegrasikan pada mikrokontroler. Algoritma fuzzy dipilih sebagai algoritma kendali pada penelitian ini karena algoritma ini sesuai untuk proses fermentasi yang merupakan proses biologis yang sulit

dimodelkan. Kesulitan desain sistem kendali dengan metode konvensional tidak akan ditemui jika logika fuzzy digunakan sebagai algoritma kontrol pada pengendalian suhu proses fermentasi. Fermenter yang dikembangkan dalam penelitian ini berskala sedang ditujukan untuk pengembangan teknologi bagi Usaha Kecil Menengah (UKM).

METODE PENELITIAN

Pembuatan Tangki Fermenter

Fermentor dibuat dengan bahan alumunium dengan kapasitas maksimum 9 L susu. Sensor suhu yang digunakan untuk sistem kendali adalah LM35 *waterproof*. Sedangkan aktuator yang digunakan berupa dua buah *heater* dengan daya masing-masing sekitar 150 W. Gambar 1 menunjukkan fermentor yang telah dirancang.



Gambar 1. Fermentor yang digunakan untuk penelitian

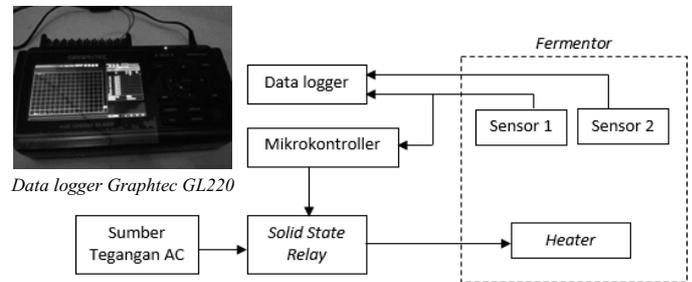
Perancangan Hardware Sistem Instrumentasi Dan Kontrol

Sistem pengendalian yang dibuat menggunakan mikrokontroler ATMega16 dengan *input* berupa sinyal dari sensor LM35. *Output* pengendali dihubungkan dengan rangkaian *driver* dan *solid-state switching* untuk mengendalikan aktuator (*heater*). Gambar 2 menunjukkan rangkaian elektronika untuk pengendali suhu fermentor.



Gambar 2. Rangkaian sistem pengendali

Untuk pengambilan data dan monitoring sistem digunakan *data logger* Graphtec GL220 dengan input sensor berupa sensor suhu LM35 yang digunakan untuk sistem kontrol dan sensor termokopel untuk monitoring suhu di bagian tengah fermentor. *Sampling* data yang direkam adalah 1 detik dilakukan selama proses fermentasi berlangsung. Gambar 3 menunjukkan *data logger* dan skematik diagram sistem yang digunakan pada saat eksperimen.



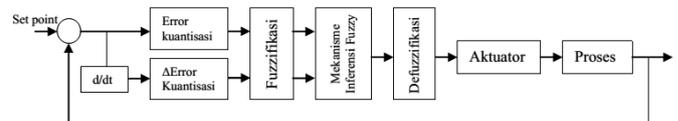
Gambar 3. *Data logger* dan skematik sistem

Target Sistem Pengendalian

Target sistem kendali yang dibuat adalah untuk menghasilkan profil suhu yang stabil dengan sekecil mungkin *steady state error* dan tanpa *overshoot*. Suhu optimum tertinggi untuk *Streptococcus sp.* sekitar 42 °C sedangkan untuk *Lactobacillus sp.* adalah 46 °C karena perbedaan ini diharapkan tidak ada *overshoot* pada proses pemanasan. *Settling time* yang diinginkan tentunya adalah secepat mungkin, akan tetapi *settling time* ini tergantung pada daya dari *heater*, semakin besar daya *heater* maka *settling time* akan semakin cepat tapi akan berpengaruh pada kebutuhan energi yang besar sehingga *settling time* didesain sesuai dengan heater yang digunakan dalam penelitian ini. Logika kontrol dirancang untuk memenuhi target sistem pengendalian yang telah dijabarkan diatas.

Perancangan Logika Kontrol

Struktur sistem pengendalian. Struktur sistem pengendalian yang dipilih dalam penelitian ini adalah sistem FLC dengan penggunaan langsung (*direct*). Struktur ini dipilih karena merupakan yang paling mudah untuk dipahami oleh operator.



Gambar 4. Struktur sistem FLC yang digunakan (Zhang and Liu, 2006)

Pendefinisian variabel input dan output FLC. Variabel input yang akan diukur dan dikendalikan dengan menggunakan sensor LM35 adalah suhu susu. *Set point* yang

digunakan untuk pengendalian adalah 40 °C. Variabel input yang digunakan dalam FLC adalah:

- Error (E) = Tsetpoint – Treal rentang nilai Error [-10, +10]
- ΔError (DE) = Error (t) – Error (t-1) rentang nilai Error [-2, +2]

dengan *delay* untuk *sampling error* dan *delta error* adalah 1 detik. Waktu *sampling* sebesar 1 detik ini digunakan dengan memperhatikan respon sistem yang cukup cepat karena sistem ini adalah sistem skala kecil. Sedangkan untuk variabel output adalah sinyal kontrol (U) rentang nilai [-6, +6].

Pembuatan himpunan fuzzy (fuzzifikasi). Untuk memudahkan dipilih penskalaan untuk ketiga sinyal tersebut agar rentang nilainya menjadi [-6, +6], sehingga untuk sinyal E dan DE dipilih faktor penskalaan 6 dan untuk nilai U faktor penskalaan 1. Sehingga tabel kuantisasinya adalah sebagai berikut (Kuswadi, 2007):

Tabel 1. Kuantisasi variabel E dan DE

E	DE	Hasil kuantisasi
-10	-2	-6
-8,5	-1,7	-5
-6,5	-1,3	-4
-5	-1	-3
-3,5	-0,7	-2
-1,5	-0,3	-1
0	0	0
1,5	0,3	1
3,5	0,7	2
5	1	3
6,5	1,3	4
8,5	1,7	5
10	2	6

Untuk dapat dituliskan kodingnya dengan menggunakan CodeVision AVR dan memprogram mikrokontroler maka fungsi keanggotaan fuzzy harus didefinisikan secara diskrit. Fungsi keanggotaan fuzzy secara diskrit digambarkan dalam Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Fungsi keanggotaan secara diskrit

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,7	1
PS	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,7	1	0,7	0,3
AZ	0	0	0	0	0,3	0,7	1	0,7	0,3	0	0	0	0
NS	0	0,3	0,7	1	0,7	0,3	0	0	0	0	0	0	0
NB	1	0,7	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pembuatan dasar aturan fuzzy. Karena variabel input ada 2 dan masing-masing memiliki 5 *membership* maka aturan fuzzy yang dibuat ada 25 aturan sebagai berikut yang dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Basis aturan fuzzy

Fuzzy rules	E				
	NB	NS	AZ	PS	PB
DE NB	NB	NB	NB	NS	AZ
DE NS	NB	NS	NS	AZ	PS
DE AZ	NB	NS	AZ	PS	PB
DE PS	NS	AZ	PS	PS	PB
DE PB	AZ	AZ	PB	PB	PB

Sinyal kendali (U). Untuk hasil sinyal kendali (U) akan bernilai antara -6 sampai 6, untuk menterjemahkannya ke aktuatur (persentase PWM) maka mengikuti aturan sebagai berikut:

- a. Untuk hasil inferensi dengan blok warna kuning atau hasil negatif (<0) maka sinyal kendali bernilai 0 atau heater OFF
- b. Untuk hasil dengan blok warna hijau, mendekati 0, jika negatif maka sinyal kendali 0/ heater OFF jika positif maka sinyal kendali = PWM sesuai nilai yang didapatkan dengan konversi mengacu pada rentang nilai 0-6 sama dengan rentang PWM 0-100%
- c. Blok warna putih sesuai dengan rentang nilai 0-6 maka output PWM bervariasi dari 0-100% dibagi dengan skala 6 tersebut

Pemilihan operator defuzzifikasi. Untuk pemilihan metode defuzzifikasi harus diperhatikan beberapa aspek yaitu kontinuitas, disambiguitas, plausabilitas dan komputasi (Wati, 2011). Dengan memperhatikan aspek tersebut metode COA dan MOM merupakan metode yang cukup baik digunakan. Metode COA memiliki kekurangan pada aspek komputasi dan metode MOM memiliki kekurangan pada aspek kontinuitas, sedangkan aspek yang lainnya kedua metode ini sama-sama baik. Pada penelitian ini digunakan metode defuzzifikasi COA, yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

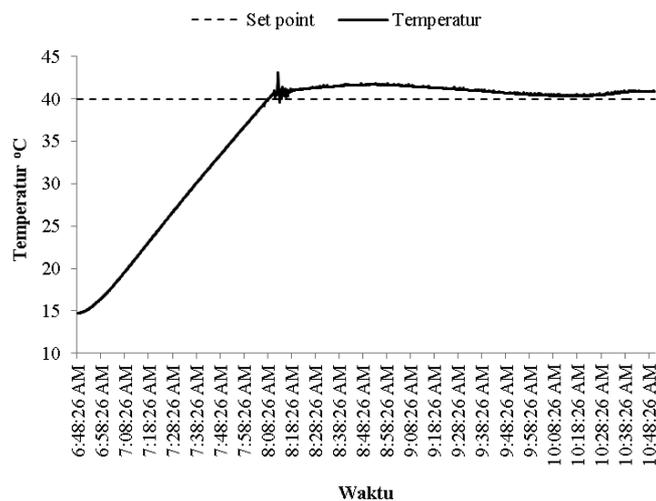
$$V_o = \frac{\sum_{k=1}^m V_k \mu_k(V_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_k(V_k)} \dots\dots\dots (1)$$

Setelah perancangan *fuzzy logic controller* (FLC) dilakukan maka algoritma ini kemudian diintegrasikan pada mikrokontroler. Sebagai pembanding logika kontrol ON-OFF juga dibuat dan diintegrasikan pada mikrokontroler. Pemrograman mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan software CodeVisionAVR dengan menggunakan bahasa C. Untuk logika kontrol ON-OFF digunakan mikrokontroler ATMega16 sedangkan untuk logika fuzzy karena memerlukan memory yang lebih besar maka digunakan mikrokontroler ATMega32.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Eksperimen dengan Mode Kontrol ON-OFF

Eksperimen pertama pengujian sistem kontrol suhu fermentor dilakukan dengan mode kontrol ON-OFF. Algoritma kontrol ON-OFF yang diprogramkan pada mikrokontroler mengendalikan *heater* 1 sebagai *heater* utama dan *heater* 2 yang digunakan dalam proses *preheating*. Sebelum suhu mencapai 38 °C *heater* 1 dan 2 akan hidup bersamaan sehingga suhu yang diinginkan akan tercapai dengan lebih cepat. Setelah mencapai 38 °C *heater* 2 akan mati dan *heater* 1 akan melanjutkan pemanasan sampai pada 40 °C sehingga profil suhu akan lebih halus. Mode kontrol ini secara tidak langsung merupakan metode semi-fuzzy (bukan murni ON-OFF). Analisis *error* dengan *sampling time* 10 detik selama 1 jam setelah mencapai *set point* menunjukkan *error* maksimum sebesar 0,43 °C untuk *positive error* dan -3,09 °C untuk *negative error* sedangkan rata-rata *error* sekitar -1,36 °C. Grafik hasil pengukuran dengan menggunakan *data logger* untuk monitoring profil suhu selama eksperimen disajikan pada Gambar 5.



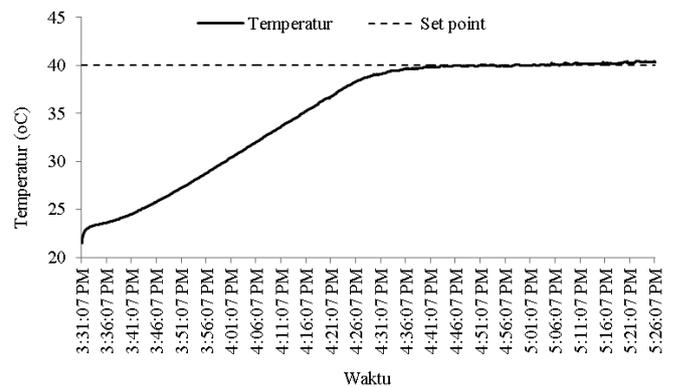
Gambar 5. Profil suhu proses fermentasi dengan mode kontrol ON-OFF

Didapatkan dari hasil eksperimen bahwa dengan menggunakan mode kontrol ini *settling time* memerlukan waktu sekitar 1 jam 15 menit kemudian pengendalian ON-OFF tetap menunjukkan profil suhu dengan *error* ON-OFF yang dinamik. Setelah dilakukan proses fermentasi selama 8 jam dengan mode kontrol ini, yogurt hasil fermentasi diuji dan hasil uji menunjukkan jumlah bakteri *Lactobacillus sp.* sebesar $3,4 \times 10^4$ dengan pH sebesar 4,89. Sedangkan pada pengujian ke-2 dengan lama proses fermentasi sekitar 15 jam didapatkan jumlah bakteri *Lactobacillus sp.* sebanyak $4,55 \times 10^5$ dan *Streptococcus sp.* sebanyak $6,5 \times 10^2$ dengan pH kultur sebesar 4,22.

Hasil ini menunjukkan bahwa yogurt yang dihasilkan belum menunjukkan standar yang sesuai dengan SNI (BSN, 2009). Hal ini kemungkinan dikarenakan kultur yang digunakan adalah kultur turunan dari produk yang sudah jadi sehingga aktivitas bakteri pro-biotik tidak terlalu baik. Sehingga dapat disimpulkan untuk menghasilkan yogurt sesuai SNI dengan kultur dari produk yang sudah jadi diperlukan proses fermentasi yang lebih lama.

Hasil Eksperimen dengan Mode Kontrol Fuzzy

Eksperimen dengan menggunakan mode kontrol Fuzzy dilaksanakan dengan menggunakan metode kontrol aktuator dengan *Pulse Width Modulator* (PWM). Dengan menggunakan mode PWM ini maka daya *heater* akan dapat dikendalikan sesuai dengan prosentase sinyal PWM. Prosentase sinyal PWM inilah yang dikendalikan dengan menggunakan FLC. Gambar 6 menunjukkan profil suhu proses fermentasi dengan menggunakan mode kontrol FLC.



Gambar 6. Profil suhu proses fermentasi dengan mode kontrol FLC

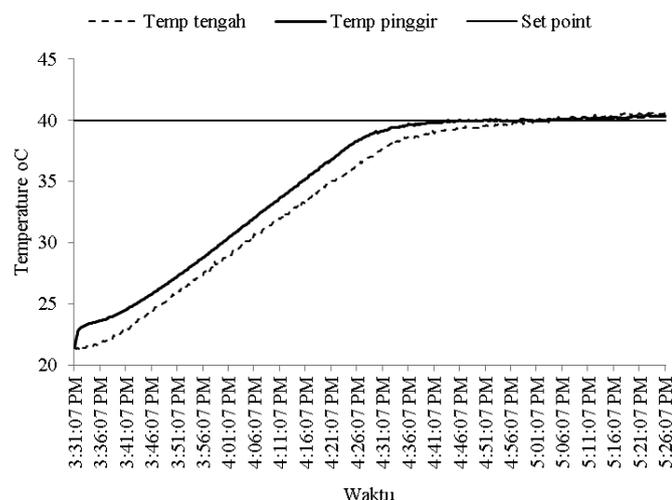
Hasil eksperimen dengan menggunakan mode kontrol fuzzy menunjukkan waktu *settling time* sekitar 1 jam lebih 20 menit sedikit lebih lama dari mode kontrol ON-OFF dikarenakan ketika mendekati *set point* PWM bekerja kurang dari 100% untuk memastikan tidak ada *overshoot* atau *error* yang berlebihan ketika telah mencapai *set point*. Setelah

dilakukan proses fermentasi selama 16 jam, dengan mode kontrol fuzzy, yogurt yang dihasilkan memiliki pH sebesar 3,66, jumlah mikroba *Lactobacillus sp.* sebanyak $4,85 \times 10^8$ dan *Streptococcus sp.* sebanyak $1,34 \times 10^6$. Hasil ini menunjukkan nilai pH lebih rendah dari pH standar yogurt yakni 4.6 (Lee dan Lucey, 2010) dan jumlah mikroba *Lactobacillus sp.* yang melebihi standar SNI yakni 10^7 cfu/mL. Hal ini menunjukkan profil suhu yang stabil dengan menggunakan mode fuzzy dapat mendukung cepatnya waktu fermentasi yogurt sehingga dengan suhu yang stabil lama waktu untuk pembuatan yogurt akan lebih cepat.

Dapat diamati bahwa profil suhu yang dikendalikan dengan *fuzzy logic controller* lebih stabil dibandingkan dengan mode kendali ON-OFF. Hasil analisis data dengan sampling time 10 detik selama satu jam setelah mencapai set point pertama kali menunjukkan bahwa *error* (adalah nilai kesalahan = nilai *set point* – nilai terukur) maksimum yang pada mode kontrol fuzzy adalah $0,12 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk *positive error* dan $-0,62 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk *negative error* sedangkan rata-rata error sekitar $-0,36 \text{ }^\circ\text{C}$.

Distribusi Suhu pada Fermentor

Gambar 7 menyajikan perbandingan antar suhu di sensor sistem kendali yang diletakkan di dinding fermentor dan suhu pada bagian tengah fermentor yang diukur dengan menggunakan sensor termokopel. Dapat dilihat dari profil grafiknya bahwa *settling time* untuk suhu di bagian tengah fermentor lebih lambat dari *settling time* di dinding fermentor. Perbedaan waktu *settling time* ini sekitar 5 menit. Hal ini disebabkan karena proses *transfer* kalor memerlukan waktu untuk meraih bagian tengah fermentor. Akan tetapi setelah suhu *set point* tercapai maka distribusi suhu di pinggir dan tengah fermentor dapat dikatakan telah sama dan stabil.



Gambar 7. Perbandingan antara profil suhu di pinggir (dinding fermentor) dan sensor di tengah fermentor

KESIMPULAN

Prototipe fermentor dengan mode pengendalian menggunakan algoritma ON-OFF dan FLC telah dapat dirancang dan dibuat. Hasil pengukuran proses fermentasi dengan menggunakan mode kontrol ON-OFF menunjukkan profil suhu dengan *error* dinamik sedangkan mode kontrol fuzzy menghasilkan profil suhu yang lebih stabil dan *error* yang lebih rendah. Hasil analisis *error* dengan *sampling time* 10 detik selama 1 jam setelah mencapai *set point* menunjukkan pada mode ON-OFF *error* maksimum sebesar $0,43 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk *positive error* dan $-3,09 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk *negative error* sedangkan rata-rata error sekitar $-1,36 \text{ }^\circ\text{C}$. Error maksimum yang pada mode kontrol fuzzy adalah $0,12 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk *positive error* dan $-0,62 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk *negative error* sedangkan rata-rata *error* sekitar $-0,36 \text{ }^\circ\text{C}$. Hasil fermentasi dengan mode kontrol ON-OFF selama 8 jam menghasilkan yogurt dengan jumlah mikroba *Lactobacillus sp.* sebesar $3,4 \times 10^4$ dengan pH sebesar 4,89. Sedangkan pada pengujian ke-2 dengan lama proses fermentasi sekitar 15 jam didapatkan jumlah bakteri *Lactobacillus sp.* sebanyak $4,55 \times 10^5$ dan *Streptococcus sp.* sebanyak $6,5 \times 10^2$ dengan pH kultur sebesar 4,22. Setelah dilakukan proses fermentasi selama 16 jam, dengan mode kontrol fuzzy, yogurt yang dihasilkan memiliki pH sebesar 3,66, jumlah mikroba *Lactobacillus sp.* sebanyak $4,85 \times 10^8$ dan *Streptococcus sp.* sebanyak $1,34 \times 10^6$. Performansi sistem pengendalian suhu untuk fermentor ini masih perlu diperbaiki dan dioptimasi untuk menghasilkan sistem pengendalian dengan parameter kontrol yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknologi Pertanian yang telah mendanai penelitian ini dengan dana PNBPF Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya berdasarkan Surat Perjanjian No. 1341/UN10.10/PG/2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, Triyantini, Sunarlim, R., Setiyanto, H. dan Nurjannah (2001). Pengaruh suhu dan waktu pasteurisasi terhadap mutu susu selama penyimpanan. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner* **6**: 45-50.
- Birle, S., Hussein, M.A. dan Becker, T. (2013). Fuzzy logic control and soft sensing applications in food and beverage processes. *Food Control* **29**: 254-269.
- Badan Pusat Statistik (2004). Data Statistik Pertanian dan Peternakan Malang. Malang.

- Badan Standar Nasional (2009). SNI 2981-2009: Yogurt.
- Kavitha, S., Chinthamani, B. dan Ponmalar, S.J. (2012). Fuzzy based control using lab view for temperature process. *International Journal of Advanced Computer Research* **2**: 8-13.
- Kuswadi, S. (2007). *Kendali Cerdas: Teori dan Aplikasinya*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Lee, W.J. dan Lucey, J.A. (2010). Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **23**: 1127-1136.
- Moorthy, M.R., Simon, J.S. dan Thirumurugan, K. (2006). *Fuzzy Based Temperature Control Using Microcontroller*. Anna University, Kattankulathur.
- Nhivekar, G.S., Nirmale, S.S. dan Mudholker, R.R. (2011). Implementation of fuzzy logic control algorithm in embedded microcomputers for dedicated application. *International Journal of Engineering, Science and Technology* **3**: 276-283.
- Wahab, A. (2012). *Pengaruh Psikologis dan Rasionalis Terhadap Keputusan Nasabah Menabung pada Baitul Maal wat Tamwil (BMT) Al-Hijrah Koperasi Agro Niaga (KAN) Jabung Malang*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Wati, D.A.R., (2011). *Sistem Kendali Cerdas*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Yildiz, F. (2010). *Development and Manufacture of Yogurt and Other Functional Product*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Yuniarti, D., Zaid, A.M. dan Zakaria, M.F. (2009). *Automatic Yoghurt Making Using Digital PI for Fermentation Temperature Control*. Electrical Engineering. University of Diponegoro, Semarang.
- Zhang, H. dan Liu, D. (2006). *Fuzzy Modeling and Fuzzy Control*. Birkhauser, Boston.