

Kendali Suhu dan Monitoring pH Pada Fermentasi Yoghurt Dengan Metode PID

Yulistin Amalia Putri^{1*}, Fitri², Muhamad Rifa'i³

^{1,2,3} Politeknik Negeri Malang, Malang

*Penulis Korespondensi, email: amaliayulistin@gmail.com

Received: 13/08/2024

Revised: 25/08/2024

Accepted: 26/08/2024

Abstract. Yoghurt is a food that has many benefits for the body's health. The yoghurt fermentation process aims to reduce the lactose levels in yoghurt which is produced by *Lactobacillus sp.* and *Streptococcus sp.* The two bacteria in yoghurt grow well in the temperature range of around 40°C – 45°C. The longer the fermentation process takes, the more sour the resulting yoghurt will be. To keep the temperature in the fermentation process stable, a temperature control device with a temperature control sistem is needed. Here the PID method is used to control temperature in the fermentation process. The expected result is that this tool is able to maintain temperature stability so that it can speed up fermentation time. The results of temperature control using the PID method obtained values of $K_p = 37.69$, $K_i = 0.093$, $K_d = 83.28$ from tuning Ziegler-Nichols 1, where the results of the PID temperature parameters are rise time 169 s, settling time 310 s, maximum overshoot 4.71%, peak time 220 s, steady state error 1.82% and -0.06%. At a temperature of 45°C fermentation runs for 4 hours with the final result being yoghurt which has a typical yoghurt aroma and sourness with a pH value of 4.54, a milky white color and a soft and thick yoghurt texture.

Keywords: Yoghurt fermentation, PID method, pH monitoring, PT100, and 4502C

Abstrak. Yoghurt merupakan salah satu makanan yang memiliki banyak manfaat bagi kesehatan tubuh. Proses fermentasi yoghurt bertujuan mengurangi kadar laktosa yang ada di dalam yoghurt yang dihasilkan oleh *Lactobacillus sp.* dan *Streptococcus sp.* Dua bakteri pada yoghurt berkembang baik dalam range suhu sekitar 40°C – 45°C. Semakin lama proses fermentasi maka yoghurt yang dihasilkan akan semakin asam. Untuk menjaga agar suhu dalam proses fermentasi tetap stabil diperlukan alat kendali suhu dengan sistem kendali suhu. Disini digunakan metode PID untuk pengendalian suhu pada proses fermentasi. Hasil yang diharapkan yaitu alat ini mampu menjaga kestabilan suhu sehingga dapat mempercepat waktu fermentasi. Hasil dari kendali suhu dengan metode PID didapatkan nilai $K_p = 37,69$, $K_i = 0,093$, $K_d = 83,28$ dari tuning Ziegler-Nichols 1, dimana hasil dari parameter PID suhu yaitu rise time 169 s, settling time 310 s, maksimum overshoot 4,71%, peak time 220 s, error steady state 1,82% dan -0,06%. Pada suhu 45°C fermentasi berjalan selama 4 jam dengan hasil akhir yoghurt yang memiliki aroma dan asam khas yoghurt dengan nilai pH sebesar 4,54, warna putih susu dan tekstur yoghurt yang lembut dan mengental.

Kata Kunci: Fermentasi yoghurt, Metode PID, Monitoring pH, PT100 dan 4502C

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia, banyak orang sudah memahami pentingnya menjalani gaya hidup sehat. Salah satu aspek penting dalam menerapkan gaya hidup sehat adalah memperhatikan makanan dan minuman yang dikonsumsi setiap hari. Contoh minuman sehat yang bermanfaat bagi tubuh adalah yoghurt. Yoghurt adalah minuman fermentasi yang berbahan dasar susu dan sangat populer di kalangan masyarakat Indonesia serta di seluruh dunia. Popularitas yoghurt meningkat karena diyakini memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan memberikan berbagai manfaat kesehatan[1].

Yoghurt dibuat dari susu yang melalui proses fermentasi dengan bantuan bakteri tertentu. Bakteri yang digunakan adalah *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Selama fermentasi, bakteri ini mengubah laktosa (gula susu) menjadi asam laktat, yang memberikan yoghurt rasa asam yang khas dan tekstur yang lebih kental akibat penggumpalan protein susu oleh asam tersebut[2].

Proses pembuatan yoghurt melewati beberapa tahapan yaitu proses pasteurisasi susu dimana pada proses tersebut dilakukan pemanasan susu dengan suhu sesuai dengan metode yang digunakan, pada proses pasteurisasi susu ini terdapat dua metode pemanasan yaitu *Low Temperature Long Time*

(LTLT) dengan pemanasan susu pada suhu 63 °C–66 °C selama rentang waktu 30 menit dan *High Temperature Short Time* (HTST) dengan pemanasan susu pada suhu 72 °C selama rentang waktu 15 detik[3]. Setelah itu susu didinginkan hingga mencapai suhu yang diharapkan. Setelah itu diberi tambahan starter berupa *bakteri Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* dan dilakukan proses fermentasi. Suhu berperan penting dalam pertumbuhan bakteri yang dapat digunakan untuk mencegah pembentukan laktosa pada suhu tertentu, sehingga dengan adanya asam laktat akan menyebabkan pH susu menurun dan susu akan mengental[4].

Selama fermentasi yoghurt, waktu dan suhu fermentasi merupakan faktor penentu. *Lactobacillus bulgaricus* tumbuh subur pada suhu 42 - 45°C, sedangkan *Streptococcus thermophilus* tumbuh subur pada suhu 40 - 42°C[2]. Yoghurt yang berkualitas baik memiliki pH antara 3,80 – 4,50. Jika proses fermentasi berlangsung lebih lama, hal ini akan memengaruhi hasil akhir yoghurt, menyebabkan perubahan warna menjadi kekuningan dan meningkatnya tingkat keasaman (pH)[5].

Proses fermentasi yoghurt yang dilakukan secara konvensional, memerlukan waktu kurang lebih sekitar 20 – 24 jam. Proses fermentasi ini masih menggunakan cara manual yaitu menggunakan kaleng yang dibalut dengan kain tebal untuk menjaga agar suhu tetap hangat. Proses ini tentunya dapat mempengaruhi hasil dari yoghurt, dikarenakan pada proses manual ini suhu tidak akan stabil tergantung pada ketebalan kain yang digunakan dan juga suhu ruangan saat proses fermentasi berlangsung.

Untuk mengatasi masalah ketidakstabilan suhu dalam proses fermentasi yoghurt secara konvensional, diperlukan solusi yang dapat menjaga suhu tetap stabil dan optimal. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan menerapkan sistem kendali suhu yang cerdas. Ada berbagai metode pengendalian suhu, seperti *ON/OFF*, *Proporsional Derivative* (PD), dan *Proporsional Integral Derivative* (PID). Kontrol

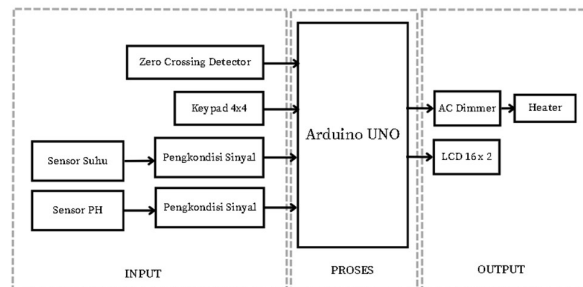
PID seringkali digunakan dalam rekayasa kontrol untuk mengatur sistem secara otomatis, dengan tujuan agar mencapai *setpoint* atau nilai target yang diinginkan[6][7][8].

II. METODOLOGI

BAB ini berisi paparan tentang tinjauan alat dan perancangan sistem dan perancangan komponen.

A. Tinjauan alat dan perancangan komponen

Pada sistem fermentasi yoghurt terdapat beberapa komponen yang digunakan, berikut ini diagram blok sistem yang terdiri dari *input*, proses dan *output*.



Gambar 1. Blok diagram sistem

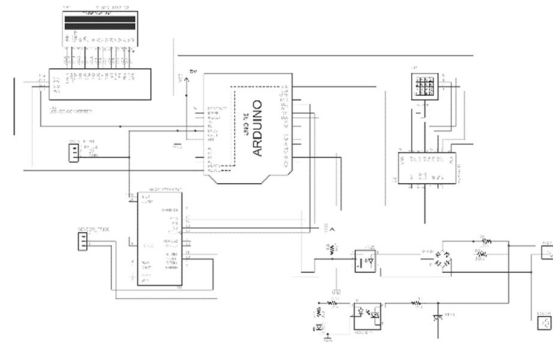
Pada blok diagram di Gambar 1, terdapat beberapa komponen yang digunakan sebagai *input*, proses dan *output*. Berikut ini merupakan penjelasan terkait fungsi dari masing – masing komponennya :

1. Sensor Suhu PT100 : Sensor suhu PT100 ini digunakan sebagai pendeteksi suhu susu yang difermentasi di dalam panci penampung. Penggunaan sensor ini dikarenakan sensor ini *food grade* sehingga aman untuk dimasukkan ke dalam makanan. Selain itu sensor memiliki nilai yang tetap stabil dalam penggunaan *temperature* tinggi. Pada PT100 *output* berupa resistansi akan diubah menjadi nilai tegangan agar terbaca oleh mikrokontroler Arduino[9].
2. Sensor pH 4502C : Sensor pH berfungsi untuk mendeteksi tingkat keasaman (pH) pada yoghurt yang sedang menjalani proses fermentasi. Sensor pH memerlukan pengkalibrasian secara teratur untuk hasil yang akurat. Sensor ini mengirimkan data ke Arduino dalam bentuk sinyal tegangan, yang

- kemudian dikonversi menjadi data digital. Data ini selanjutnya diteruskan dan ditampilkan pada layar LCD 16x2[10][11].
3. *Keypad 4x4* : *Keypad* disini digunakan untuk menginputkan nilai *setpoint* dan pemilihan menu pada tampilan LCD.
 4. *Arduino Uno R3* : *Arduino* ini digunakan sebagai mikrokontroler, yang mana nantinya *arduino* sebagai pemroses data yang di dapatkan dari *input* sebelum akhirnya menjadi *output*. *Arduino Uno* ini memiliki 14 pin *input* dari output digital dan juga 6 pin analog yang bisa digunakan[11].
 5. *Water Heater 500 Watt* : *Heater* digunakan sebagai pemanas pada tanki penampung yang berisikan susu yang akan difermentasi. *Heater* digunakan selama proses fermentasi berlangsung. Proses fermentasi ini memerlukan *heater* untuk menjaga agar suhu tetap berada dalam nilai *setpoint* yang ditentukan sebelumnya. *Heater* ini akan aktif ketika nilai suhu berada dibawah nilai *setpoint*, dan *heater* akan aktif ketika nilai suhu di atas nilai *setpoint*.
 6. *AC Dimmer* : *AC Dimmer* digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal PWM. Rangkaian dimmer ini terhubung pada *heater* dan digunakan sebagai pengontrol daya yang dikeluarkan *heater*.
 7. *LCD 16x2* : *LCD* digunakan sebagai *display* dari parameter yang dikontrol, yang mana disini parameternya adalah nilai suhu yang terbaca oleh sensor, dan suhu *setpoint*.

B. Perancangan keseluruhan komponen

Pada Gambar 2 merupakan perancangan keseluruhan komponen ini terdapat gambar skematik yang menjelaskan terkait *wiring* sistem fermentasi yoghurt secara menyeluruh.

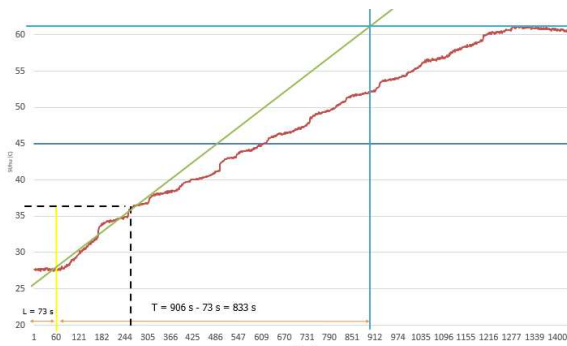


Gambar 2. Skematik keseluruhan sistem

C. Perancangan sistem

Dalam perancangan suhu menggunakan kontrol PID menggunakan metode ZN1 (Ziegler-Nichols 1). Metode ini digunakan untuk menentukan parameter PID. Untuk menentukan parameter tersebut, memerlukan analisis kurva reaksi sistem untuk mengidentifikasi waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T)[7].

Dalam proses ini, sistem diuji dengan memberikan input step dan mengamati respon outputnya. Nilai-nilai L dan T diperoleh dengan menarik garis singgung pada kurva reaksi, di mana garis tersebut harus mengikuti bagian kurva yang paling linear dan melewati titik yang menunjukkan waktu respon mencapai 63,2% dari nilai *steady state*. Setelah L dan T ditemukan, rumus *Ziegler-Nichols* digunakan untuk menghitung parameter PID yang optimal, yang kemudian diimplementasikan dalam program *Arduino* untuk mengatur kestabilan suhu yang lebih baik[12]. Metode ini digunakan untuk menstabilkan sistem dan mengurangi *overshoot* serta waktu *settling*. Gambar 3 menunjukkan karakteristik sistem plant tanpa kontroler.



Gambar 3. Karakteristik sistem plant tanpa kontroler

Setelah mendapatkan grafik respon sistem tanpa kontroller seperti gambar 3.. kemudian mencari nilai L dan T. Berdasarkan kurva respon tanpa kontroller nilai dari L dan T.

$$L = 73s$$

$$T = 906s - 73s$$

$$T = 833s$$

Setelah didapatkan nilai L dan T maka bisa memasukan rumus *Ziegler- Nichols 1*. Didapatkan nilai $K_p = 13,69$ $K_i = 0,93$ $K_d = 83,28$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian sensor PT100

Pengujian sensor suhu ini yaitu untuk melihat hasil pembacaan sensor suhu. Data hasil pembacaan sensor suhu dibandingkan dengan *thermometer* digital untuk mengetahui nilai *error* antara hasil pembacaan dari sensor suhu dengan pembacaan *thermometer* digital. Dari pembacaan keduanya dihasilkan nilai *error*, yang mana dijadikan acuan layak atau tidaknya sensor tersebut.

Tabel 1. Pengujian sensor PT100

Suhu terbaca thermometer (°C)	Suhu terbaca sensor PT100 (°C)	Error (%)
78.9	78.42	0.60
64.8	65.38	0.89
56.9	56.7	0.35
52.4	52.77	0.70

48.7	48.55	0.30
44.8	45.11	0.69
42	42.59	1.40
40.1	40.38	0.69
38.1	38.65	1.44
37.1	37.39	0.78
Rata – rata error		0,784

Dari hasil pengujian sensor suhu PT100 pada Tabel 1 diatas didapatkan nilai rata – rata *error* sebesar 0,784%. Dari rata – rata *error* tersebut dapat dikatakan bahwa sensor suhu PT100 masi layak untuk digunakan dan mampu bekerja dengan baik dalam melakukan pembacaan nilai suhu.

B. Pengujian sensor pH 4502C

Pada alat yang dirancang menggunakan sensor PH yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman dari yoghurt. Tujuan dari pengujian sensor PH ini untuk mengetahui layak atau tidaknya sensor tersebut untuk digunakan. Data hasil pembacaan sensor PH dibandingkan dengan PH Meter untuk mengetahui nilai *error* antara hasil pembacaan dari sensor PH dengan pembacaan PH Meter. Dari pembacaan keduanya dihasilkan nilai *error*, yang mana dijadikan acuan layak atau tidaknya sensor tersebut.

Tabel 2. Pengujian sensor pH 4502C

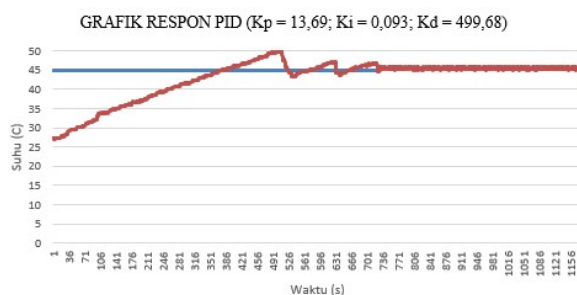
No.	Media ukur	Sensor PH	PH Meter	Error (%)
1.	Air PDAM	6,36	6,1	4,26
2.	Air 250 ml + serbuk PH 4	5,04	5,1	1,17
3.	Air 250 ml +	5,9	6,08	2,96

	serbuk PH 6			
4.	Air 250 ml + serbuk PH 9	8,97	8,83	1,58
5.	Susu UHT Low Fat	6,78	6,97	2,72
6.	Yakult	3,6	3,72	3,22
Rata – rata <i>error</i> (%)				2,65

Dari hasil pengujian sensor pada Tabel 2 terdapat nilai selisih antara pembacaan sensor PH dengan hasil PH yang dibaca oleh PH meter. Dari pengujian didapatkan nilai rata – rata *error* sebesar 2,65%, dari rata – rata *error* tersebut dapat dikatakan bahwa sensor PH 4502C masih layak untuk digunakan dan mampu bekerja dengan baik dalam melakukan pembacaan nilai PH.

C. Pengujian kontrol PID

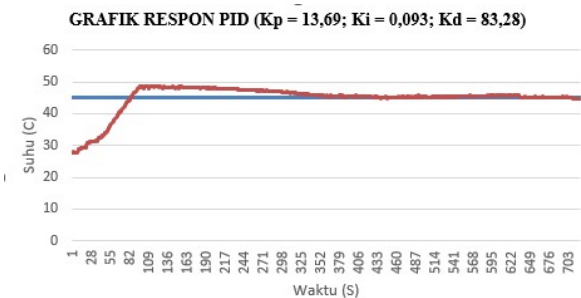
Dalam pengujian kontrol suhu dengan menggunakan beban susu sebanyak 2 liter pada *setpoint* 45°C, metode Ziegler-Nichols 1 digunakan untuk perhitungan parameter kontrol. Hasil perhitungan menunjukkan nilai Kp sebesar 13,69, Ki sebesar 0,093, dan Kd sebesar 499,68. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Bagan 1 di bawah ini.



Bagan 1. Respon PID

Pada Bagan 1 diatas dapat dilihat bahwa grafik respon dengan menggunakan nilai PID yang telah dihitung sebelumnya masih terdapat osilasi, selain itu nilai *overshoot* suhu mencapai 50,22°C dan juga nilai *rise time* sebesar 378 s. Sehingga dari

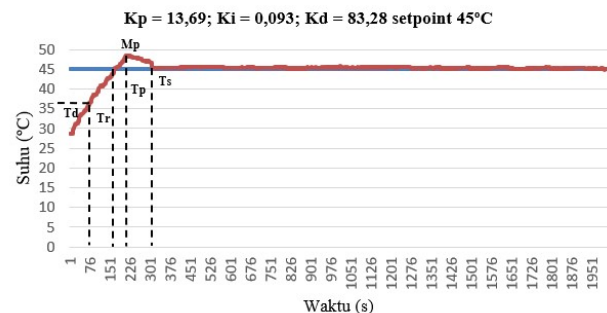
pengujian tersebut dilakukan tuning PID dengan metode *trial and error* untuk menghasilkan grafik respon kontrol suhu yang lebih baik. Pada Gambar 4.19 dibawah ini merupakan grafik respon kontrol suhu setelah dilakukan tuning terhadap nilai PID. Untuk nilai PID yang digunakan yaitu $K_p = 13,69$, $K_i = 0,093$, $K_d = 83,28$ dan dilakukan pengujian dengan beban susu sebanyak 2 liter.



Bagan 2. Respon PID setelah tuning

Pada Bagan 2 diatas merupakan grafik respon kontrol PID suhu dengan nilai PID yang sudah dituning. Pada grafik tersebut respon suhu masih memiliki *overshoot* suhu mencapai 48,65°C, dan nilai *rise time* sebesar 80 s. Dapat dilihat bahwa respon suhu dengan menggunakan nilai PID tersebut memiliki respon yang lebih baik dari respon PID suhu sebelum dituning.

Pada Bagan 3 dibawah ini menunjukkan grafik respon suhu dengan *setpoint* 45°C, dimana nilai PID yang digunakan yaitu $K_p = 13,69$, $K_i = 0,093$ dan $K_d = 499,68$.



Bagan 3. Hasil pengujian $S_p = 45$

Pengujian sistem pada *setpoint* tersebut memiliki respon sistem sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Delay Time (Td)} &= 81 \text{ s} \\
 \text{Error (steady state)} &= \left(\frac{45,82 - 45}{45} \right) 100\% = 1,82\% \\
 &= \left(\frac{44,97 - 45}{45} \right) 100\% = -0,06\% \\
 \text{Rise time (Tr)} &= 169 \text{ s} \\
 \text{Settling time (Ts)} &= 310 \text{ s} \\
 &\text{(waktu respon diantara 2\% = 45,9 dan 5\% = 42,75)} \\
 \text{Peak Time} &= 220 \text{ s} \\
 \text{Maksimum Overshoot (Mp)} &= \left(\frac{47,12 - 45}{45} \right) 100\% = 4,71\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4. Hasil yoghurt Sp = 45

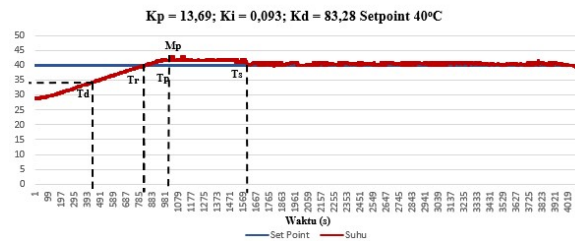
Pada sistem dilakukan *monitoring* pH dimana *Monitoring* pH pada sistem fermentasi yoghurt dilakukan secara periodik (berkala) setiap satu jam. Pada proses fermentasi yoghurt dengan sistem pengendalian suhu menggunakan metode PID memerlukan waktu sekitar 4 jam untuk menghasilkan yoghurt dengan pH yang sesuai dengan standart (3,80 - 4,50), sehingga terdapat 4 kali data pengujian pH yoghurt. Berikut ini merupakan Tabel 3 yang merupakan hasil *monitoring* pH pada setpoint suhu 45.

Tabel 3. Hasil *monitoring* pH pada sp = 45

Nilai pH (Sensor)	Nilai pH (pH Meter)	Error Pengujian (%)
5,80	5,86	1,02
5,63	5,63	0
5,47	5,48	0,18
4,54	4,57	0,65
Rata – rata Error Pengujian		0,5075

Pada pengujian fermentasi yoghurt pada suhu *setpoint* 45°C, hasil akhirnya adalah yoghurt dengan nilai pH mencapai 4,54. Yoghurt ini ditandai dengan aroma dan rasa asam khas, serta tekstur yang mengental dan lembut. Proses fermentasi pada kondisi ini menghasilkan produk akhir yang sesuai dengan standar kualitas yoghurt yang diinginkan. Pada Gambar 4 berikut ini merupakan hasil yoghurt yang difermentasi pada suhu 45°C.

Pada Bagan 4. dibawah ini menunjukkan grafik respon suhu dengan *setpoint* 40°C, dimana nilai PID yang digunakan yaitu Kp = 13,69 , Ki = 0,093 dan Kd = 83,28.



Bagan 4. Hasil pengujian Sp = 40

Pengujian sistem pada setpoint tersebut memiliki respon sistem sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Error (steady state)} &= \left(\frac{40,97 - 40}{40} \right) 100\% = 2,42\% \\
 &= \left(\frac{39,54 - 40}{40} \right) 100\% = -1,15\% \\
 \text{Rise time (Tr)} &= 823 \text{ s} \\
 \text{Settling time (Ts)} &= 1600 \text{ s} \\
 &\text{(waktu respon diantara 2\% = 40,8 dan 5\% = 38)} \\
 \text{Peak Time} &= 993 \text{ s} \\
 \text{Maksimum Overshoot (Mp)} &= \left(\frac{41,98 - 40}{40} \right) 100\% = 4,95\%
 \end{aligned}$$

Pada sistem dilakukan *monitoring* pH dimana *Monitoring* pH pada sistem fermentasi yoghurt dilakukan secara periodik (berkala) setiap satu jam. Pada proses fermentasi yoghurt dengan sistem pengendalian suhu menggunakan metode PID memerlukan waktu sekitar 4 jam untuk

menghasilkan yoghurt dengan pH yang sesuai dengan standart (3,80 - 4,50), sehingga terdapat 4 kali data pengujian pH yoghurt. Berikut ini merupakan Tabel 4 yang merupakan hasil monitoring pH pada setpoint suhu 40.

Tabel 4. Hasil pengujian sensor pH Sp = 40

Nilai pH (Sensor)	Nilai pH (pH Meter)	Error Pengujian (%)
5,80	5,86	1,02
5,63	5,63	0
5,47	5,48	0,18
4,54	4,57	0,65
Rata – rata Error Pengujian		0,5075

Pada pengujian fermentasi yoghurt dengan *setpoint* suhu 40°C, proses fermentasi menghasilkan yoghurt dengan kualitas yang diinginkan. Pada akhir pengujian, yoghurt yang dihasilkan memiliki pH sebesar 4,75, yang menunjukkan tingkat keasaman yang sesuai dengan standar yoghurt. Selain itu, yoghurt tersebut memiliki aroma dan rasa asam khas yang diharapkan dari yoghurt fermentasi, serta tekstur yang mengental namun sedikit bergerindil, hal ini berarti bahwa proses fermentasi pada suhu tersebut berhasil. Pada Gambar 5 berikut ini merupakan hasil yoghurt yang difermentasi pada suhu 40°C.



Gambar 5. Hasil yoghurt Sp = 40

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem fermentasi dapat berjalan dengan baik. Terdapat beberapa parameter yang ditampilkan yaitu *delay time*, *rise time*, *settling time*, *maximum overshoot*, *peak time* dan *error steady state* parameter tersebut menjadikan acuan untuk menentukan hasil respon sistem dari kontrol PID suhu dengan nilai $K_p = 13,69$, $K_i = 0,093$, dan $K_d = 83,28$. Dari parameter tersebut pengujian yang terbaik dan menghasilkan yoghurt berkualitas baik adalah pada *setpoint* 45°C dengan nilai PID yaitu $K_p = 13,69$, $K_i = 0,093$, dan $K_d = 83,28$ yang merupakan hasil perhitungan menggunakan *Ziegler-Nichols 1*. Parameter yang dihasilkan pada saat dilakukan fermentasi di suhu 45°C adalah *delay time* 81 s, *rise time* 169 s, *settling time* 310 s, *peak time* 220 s, *maksimum overshoot* 4,71% dan *error steady state* 1,82% dan - 0,06%. Yoghurt yang dihasilkan memiliki tekstur yang lembut dan kental, warna putih susu, aroma dan rasa asam khas yoghurt serta nilai pH sebesar 4,54 yang mana nilai tersebut masih dalam range standart pH yoghurt.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Ibu Fitri dan Bapak Muhamad Rifa'i yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. Hidayati, Z. Afifi, H. R. Triandini, I. P. Sari, Y. Ahda, and R. Fevria, "Pembuatan Yogurt Sebagai Minuman Probiotik Untuk Menjaga Kesehatan Usus," *Pros. SEMNAS BIO*, pp. 1265–1270, 2021.
- [2] R. Adiputra, M. Ramadiyanti, T. Ulfah, and D. I. Maesaroh, "Pengaruh lama waktu inkubasi, konsentrasi starter terhadap pH, viskositas dan sifat organoleptik yoghurt susu sapi," *Compos. J. Ilmu Pertan.*, vol. 4, no. 2, pp. 81–92, 2022, doi: 10.37577/composite.v4i2.557.
- [3] Y. Triwidyastuti, M. Nizar, and J. Jusak, "Pengendali Suhu Pada Proses Pasteurisasi Susu Dengan Menggunakan Metode Pid Dan Metode Fuzzy Sugeno Temperature Control for Milk Pasteurization Utilizing the Proportional-Integral-Derivative (Pid) and

- Fuzzy Sugeno Method,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 4, pp. 355–362, 2019, doi: 10.25126/jtiik.201961068.
- [4] U. A. WULANNINGSIH, “Pelatihan Pembuatan Yoghurt Susu Sapi Dengan Metode Sederhana Menggunakan *Lactobacillus Bulgaricus* Dan *Streptococcus Thermophilus*,” *J. Cerdik J. Pendidik. dan Pengajaran*, vol. 1, no. 2, pp. 66–78, 2022, doi: 10.21776/ub.jccerdik.2022.001.02.06.
- [5] H. A. Jonathan, I. N. Fitriawati, I. I. Arief, M. S. Soenarno, and R. H. Mulyono, “Fisikokimia, Mikrobiologi dan Organoleptik Yogurt Probiotik dengan Penambahan Buah merah (*Pandanus conodeous* L.),” *J. Ilmu Produksi dan Teknol. Has. Peternak.*, vol. 10, no. 1, pp. 34–41, 2022, doi: 10.29244/jipthp.10.1.34-41.
- [6] M. Fauziyah, S. Adhisuwignjo, M. Rifai, and D. Dewatama, “Based Fuzzy Logic Temperature Control for a Coffee Roaster Machine,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 434, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/434/1/012202.
- [7] A. F. Nuroctavia, A. Murtono, and B. Priyadi, “Sistem Kendali Suhu Dan Kelembapan Pada Proses Fermentasi Tempe Dengan Metode Pid,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 8, no. 3, p. 261, 2021, doi: 10.33795/elk.v8i3.304.
- [8] D. Ayu Permatasari, A. Dwi Risdhayanti, and F. Fitri, “Pengendalian Kestabilan Posisi Bola Pingpong Menggunakan Kontrol PID,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 2, pp. 245–252, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i2.3647.
- [9] D. A. Permatasari, M. Rifa'i, and M. Fauziyah, “Implementasi Cascade Control Pada Pengaturan Suhu Steamer Baglog Menggunakan PLC dan HMI,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 3, no. 1, p. 8, 2020, doi: 10.33795/elkolind.v3i1.60.
- [10] K. Purwandaru, D. E. Faturrohman, A. R. Putri, R. P. Maghfiroh, M. R. Ridhollah, and L. K. Dewi, “Rancang Bangun Fermentor Yogurt Susu Kambing Etawa dengan Sistem Kontrol Sensor pH 4502C dan Suhu DS18B20 Berbasis Arduino UNO R3,” *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 9, no. 3, pp. 281–291, 2021, doi: 10.21776/ub.jkptb.2021.009.03.10.
- [11] W. Ramadhan, Y. Yulianto, and F. Fitri, “Implementasi Alat Uji Kualitas Minyak Cengkeh Berbasis Mikrokontroler,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 2, p. 98, 2022, doi: 10.33795/elk.v9i2.338.
- [12] M. Rifa'i, E. Mandayatma, and R. I. Putri, “Speed controller of wind turbine emulator using variable speed drive based on PI method,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 732, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/732/1/012059.