

# Rancang Bangun Pengendali Suhu pada Fermentasi Kefir Berbasis Kontroler PI

Rahmadwati<sup>1</sup>, Bobby Yusuf Habibi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya  
Email: rahmadwati@ub.ac.id, bobyusuf63@gmail.com

**Abstract**— Kefir is a fermented milk that has flavor, color, and consistency like yogurt and has a distinctive yeasty aroma. Kefir contains milk sugar (lactose) is relatively low in comparison to pure milk and suitable for people with lactose intolerant or not resistant to lactose. Fermented food is the result of the activities of the several species of microbes such as bacteria, yeasts and molds. Microbial fermentation elicits the desired end result. The fermentation process of kefir takes place at a temperature of 25-37°C. In general, the fermentation of kefir is still made using the manual process to simply put it in a place covered with no idea how temperatures are in the process. So, there are rarely some people experiencing failures in the manufacturing process. This research was conducted at the control temperature-based Arduino Uno with PI controller in the fermented kefir box. The PI controller was chosen because of the characteristics of the desired response: a response that is fast and has a small error value. The actuator is heating elements (heater) and DS18B20 temperature sensor as a feedback system. Process design of PI controller using the method of Ziegler-Nichols first and PI controller parameters obtained with gain i.e.  $K_p = 26.45$  and  $K_i = 0.61$ . The setpoint value is 32°C. In testing the whole system without disturbance, the performance of the settling time (ts) response is 954 s or 15.9 minutes and error is 0.593%. In testing the entire system with disturbance, the performance of the settling time (ts) response is 960 s or 16 minutes, error is 0.593% and recovery time is 165 s or 2.75 minutes.

**Index Terms**— Kefir, temperature, DS18B20 sensor, PI controller.

**Abstrak**— Kefir merupakan susu fermentasi yang memiliki rasa, warna, dan konsistensi yang menyerupai yogurt dan memiliki aroma khas yeasty. Kefir memiliki kandungan gula susu (laktosa) yang relatif rendah dibandingkan susu murni dan cocok bagi penderita lactose intolerant atau tidak tahan terhadap laktosa. Fermentasi bahan pangan adalah hasil kegiatan dari beberapa spesies mikroba seperti bakteri, khamir dan kapang. Mikroba fermentasi mendatangkan hasil akhir yang dikehendaki. Proses fermentasi kefir berlangsung pada suhu 25-37°C. Pada umumnya fermentasi kefir masih dibuat dengan menggunakan proses manual dengan hanya meletakkannya di suatu tempat tertutup tanpa tahu berapa suhu yang ada pada proses tersebut. Sehingga tidak jarang sebagian masyarakat mengalami kegagalan dalam proses pembuatannya. Pada penelitian ini dilakukan pengontrolan suhu berbasis Arduino Uno dengan kontroler PI pada box fermentasi kefir. Kontroler PI dipilih karena karakteristik respon yang diinginkan adalah respon yang cepat dan memiliki nilai error yang kecil. Aktuator berupa elemen pemanas (heater) dan sensor suhu DS18B20 sebagai feedback system. Proses perancangan kontroler PI menggunakan metode Ziegler-Nichols yang pertama dan didapatkan parameter kontroler PI dengan gain yaitu  $K_p = 26,45$  dan  $K_i = 0,61$ . Nilai setpoint 32°C. Pada pengujian keseluruhan sistem tanpa gangguan didapatkan performansi respon settling time (ts) sebesar 954 s atau 15,9 menit dan error sebesar 0,593%. Pada

pengujian keseluruhan sistem dengan gangguan didapatkan performansi respon settling time (ts) sebesar 960 s atau 16 menit, error sebesar 0,593% dan recovery time sebesar 165 s atau 2,75 menit.

**Kata Kunci**— Kefir, suhu, sensor DS18B20, kendali PI.

## I. PENDAHULUAN

Kefir merupakan produk susu fermentasi yang dapat dibuat dari susu sapi, susu kambing, maupun susu domba dengan menambahkan bibit kefir (kefir grains) pada susu yang telah dipasteurisasi. Kefir grains berbentuk granula tak beraturan seukuran biji gandum dengan diameter 2-3 mm dan berwarna keputih-putihan atau kekuningan [1]. Sebagai minuman yang bergizi tinggi dengan kandungan gula susu (laktosa) yang relatif rendah dibandingkan susu murni, kefir sangat bermanfaat bagi penderita lactose intolerant atau tidak tahan terhadap laktosa, karena laktosanya telah dicerna menjadi glukosa dan galaktosa oleh enzim laktase dari mikroba dalam biji kefir [2]. Bakteri asam laktat dalam kefir berfungsi sebagai probiotik yang bermanfaat menjaga keseimbangan mikroorganisme saluran pencernaan, menurunkan produksi racun seperti fenol, ammonia, dan nitrosamine[3].

Pembuatan kefir sendiri melalui beberapa tahapan, pertama susu segar dipasteurisasi dengan suhu 85-90°C selama 30 menit. Kemudian didinginkan sampai mencapai suhu 28°C. Selanjutnya ditambahkan butir-butir kefir dan diaduk merata. Setelah itu dibiarkan selama 20-24 jam pada suhu antara 25-37°C agar proses fermentasi berlangsung.

Pemeraman kefir secara tradisional biasanya dilakukan pada suhu 25-27°C dan lama pemeraman selama 24 jam bahkan lebih. Pemeraman secara tradisional ini biasanya menghasilkan produk kefir dengan tekstur yang kurang baik yang disebabkan oleh suhu ruang yang dapat mengalami fluktuasi sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme[4].

Penelitian ini juga dirujuk dari hasil penelitian sebelumnya oleh Herly Evanuarini pada tahun 2010 tentang pengaruh suhu dan lama pemeraman pada inkubator yang berpengaruh terhadap produk kefir dengan kualitas yang sesuai dengan standar susu fermentasi ditinjau dari kualitas fisik. Hasil dari penelitian tersebut adalah perlakuan suhu dan lama pemeraman yang semakin tinggi akan meningkatkan viskositas tetapi akan menurunkan pH kefir. Kombinasi suhu 30°C dan lama pemeraman 24 jam menghasilkan kefir yang memenuhi standar industri Indonesia susu fermentasi dengan pH 3,86 dan viskositas 157,6 cps [5].

## II. PERANCANGAN ALAT

### A. Penentuan Spesifikasi Desain

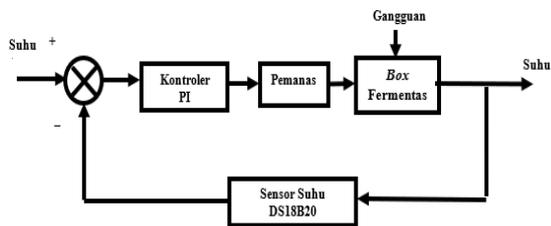
Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, maka ditentukan parameter-parameter yang dapat dijadikan sebagai tolak ukur keberhasilan sistem ini. Dengan tujuan agar perangkat keras dapat bekerja secara efektif dan efisien. Spesifikasi perangkat keras yang dirancang adalah sebagai berikut:

1. Settling time ( $t_s$ ) sistem dengan pemanas berupa elemen pemanas (heater) dapat dicapai dalam waktu 25 menit.
2. Konstanta waktu ( $T$ ) sistem ini ditentukan 15 menit.
3. Sistem ini diharapkan mampu mengatasi adanya gangguan dengan recovery time kurang dari 10 menit.
4. Maksimum error steady state ( $E_{ss}$ ) dari sistem ditentukan sebesar 5%.

### B. Perancangan Diagram Blok

Pada pembuatan alat diperlukan perancangan diagram blok sistem yang dapat menjelaskan sistem secara keseluruhan. Proses pembuatan diagram blok sistem adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang akan dibuat merupakan single input single output yaitu mempunyai satu masukan dan satu keluaran.
2. Setpoint: nilai masukan sistem yang diinginkan pada keluaran sistem. Pada pengujian kali ini berupa suhu pada box sebesar  $32^{\circ}\text{C}$ .
3. Kontroler yang digunakan adalah Kontroler Proporsional Integral (PI) menggunakan perangkat keras Arduino Uno R3.
4. Plant yang digunakan box berbentuk kotak dengan desain sendiri.
5. Pusat pengontrolan sistem adalah board Mikrokontroler Arduino untuk digunakan sebagai sinyal kontrol berupa PWM.
6. Gangguan pada plant berupa suhu sekitar.
7. Sensor suhu digunakan sebagai feedback system (umpan balik).



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

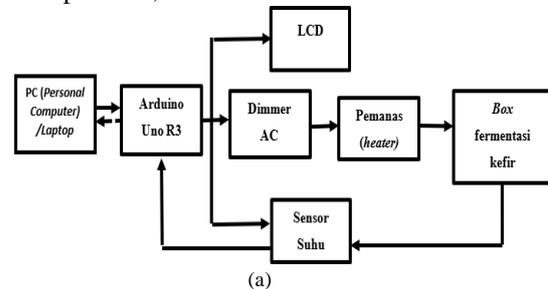
### C. Perancangan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta pemrogramannya. Hal ini agar pemodelan pada sistem pengendalian suhu pada plant menggunakan kontrol Proporsional Integral dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan.

1. Skema pembuatan perangkat keras.
2. Penentuan modul elektronik yang digunakan meliputi:
  - a. Mikrokontroler Arduino UNO R3 sebagai perangkat kontroler.
  - b. Sensor DS18B20 sebagai feedback suhu.
  - c. Elemen pemanas (heater) 150 Watt sebagai pemanas.
  - d. Kipas DC 12 Volt untuk meratakan panas di dalam box fermentasi.
  - e. LCD untuk menampilkan suhu di dalam box.
  - f. Dimmer AC

Perangkat keras di atas nantinya akan membentuk sebuah sistem yang saling terhubung satu sama lain. Proses skema perancangan alat adalah sebagai berikut:

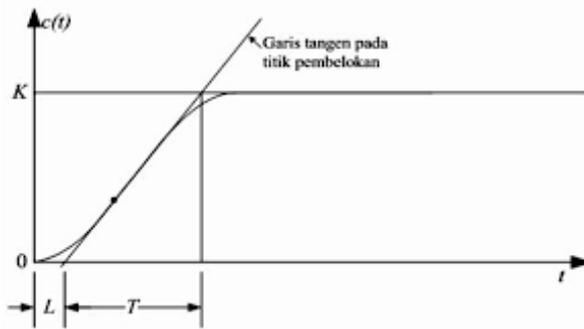
1. Dari komputer program ditransfer ke Arduino.
2. Arduino memberikan sinyal PWM untuk elemen pemanas (heater).
3. Elemen pemanas (heater) diberi catu daya 220V, kipas 12V, dan LCD 5V.



Gambar 2. (a) Skema Alat, (b) Box Fermentasi Kefir

### D. Perancangan Kontroler PI

Untuk menentukan penguatan kontroler digunakan metode *Ziegler-Nichols* yang mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional  $K_p$  dan waktu integral  $T_i$  berdasarkan karakteristik respon transien dari plant yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PI atau penalaan kontroler PI tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plant. Pada penelitian ini digunakanlah metode *Ziegler-Nichols* yang pertama sehingga mendapatkan sinyal kurva S seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Respon Kurva

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T. Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis *tangent* pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis *tangent* dengan sumbu waktu t dan sumbu  $c(t) = K$ .

Langkah menentukan tuning parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah sebagai berikut :

1. Menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik open loop.
2. Menentukan perpotongan garis tangent terhadap sumbu waktu t untuk mendapatkan L.
3. Menentukan perpotongan garis tangent terhadap sumbu steady untuk mendapatkan nilai T.
4. Setelah mendapatkan Nilai L dan T digunakan untuk menentukan nilai  $K_p$  dan  $T_i$  sesuai dengan Tabel 1

TABLE I

ATURAN PENALAAN ZIEGLER-NICHOLS YANG PERTAMA BERDASARKAN RESPON UNIT STEP DARI PLANT

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

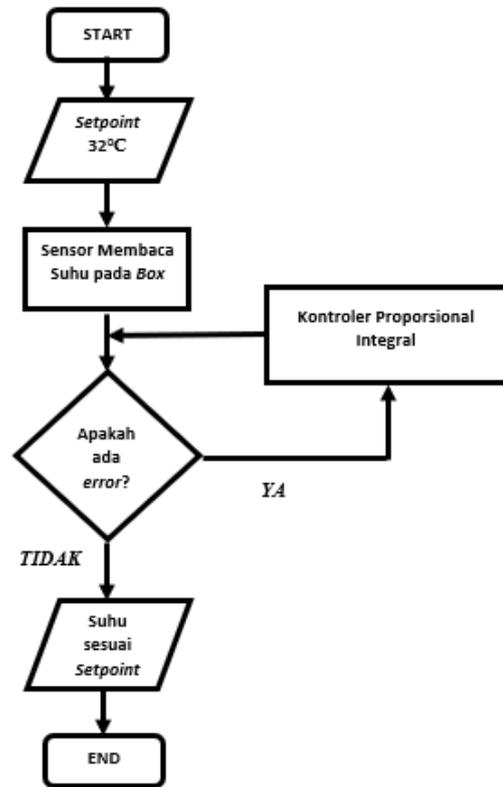
Parameter kontroler diperoleh sebagai berikut:

$$K_p = 0,9 \frac{T}{L} \quad (1)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (2)$$

#### E. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada pengendalian ini dengan menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan menggunakan software Arduino. Tuning kontroler PI adalah dengan memasukkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  dari hasil perhitungan metode Ziegler-Nichols. Flowchart perancangan perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 4.

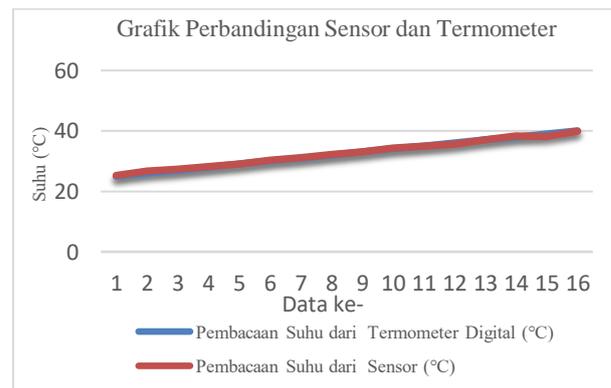


Gambar 4. Flowchart Perangkat Lunak

### III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

#### A. Pengujian Sensor DS18B20

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan (keberhasilan dan keakuratan) pembacaan sensor DS18B20 terhadap perubahan suhu dengan melihat hasil pembacaan sensor yang ditampilkan. Hasil pengujian didapatkan dengan melihat tegangan keluaran yang terbaca oleh sensor SHT 11 ditampilkan perbandingan respon keluarannya pada Gambar 5.



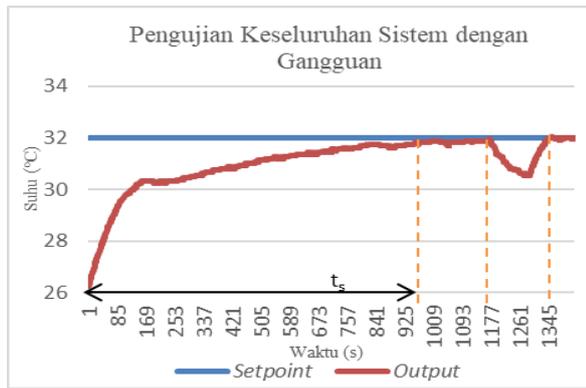
Gambar 5. Grafik Perbandingan Suhu dari Sensor dan Termometer

Berdasarkan hasil pengujian pada %error antara pembacaan suhu dari termometer digital dengan pembacaan suhu dari serial monitor sangat kecil yaitu 0,325%.

#### B. Pengujian Dimmer AC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian ini dapat digunakan sebagai *driver* untuk pemanas





Gambar 10. Respon Pengujian Keseluruhan Sistem dengan Gangguan

Dari hasil pengujian secara closed loop dengan gangguan, sistem mampu mencapai steady state pada waktu 960 s atau 16 menit, error sebesar 0,593% seperti yang diperlihatkan pada Gambar 16, kemudian diberi gangguan dengan cara membuka pintu box fermentasi. Recovery time pada sistem ini sebesar 165 s atau 2,75 menit. Untuk lebih jelasnya parameter pada kerja sistem yang diperoleh sebagai berikut:

1. *Steady State* adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai nilai akhir. Terjadi pada sekitar 960 s atau 16 menit..
2. *Error steady state* (Ess) adalah nilai kesalahan saat respon telah mencapai pada keadaan tunak/steady. Nilainya sebesar 0,593%
3. *Recovery Time* (RT) adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengembalikan ke kondisi steady state setelah terjadinya disturbance. Berdasarkan pengujian *recovery time* dengan gangguan secara acak adalah 165 s atau 2,75 menit.

#### IV. KESIMPULAN

Perancangan perangkat keras box fermentasi kefir berfungsi dengan baik. Sensor suhu DS18B20 dapat membaca suhu di dalam box dan memberikan feedback ke sistem. Kontroler PI dapat mengontrol dan menjaga suhu sesuai dengan setpoint. Berdasarkan pengujian dengan menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols, didapatkan

parameter-parameter kontroler PI. Pada pengujian keseluruhan sistem tanpa gangguan didapatkan performansi respon settling time ( $t_s$ ) sebesar 954 s atau 15,9 menit dan error sebesar 0,593%. Pada pengujian keseluruhan sistem dengan gangguan berupa suhu acak dengan buka tutup pintu box, didapatkan performansi respon settling time ( $t_s$ ) sebesar 960 s atau 16 menit, error sebesar 0,593% dan recovery time sebesar 165 s atau 2,75 menit.

#### REFERENCES

- [1] Wood, B. J. B. 1998. Microbiology of Fermented Foods. Blackie Academic and Profesional London. Elsevier Applied Science Publishing, New York
- [2] Usmiati, S. 2007. Kefir, Susu fermentasi dengan rasa menyegarkan. Warta Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian Bogor. 29(2): 12-14.
- [3] Hull, R.R., P.L. Conway dan A.J. Evans. 1991. Probiotic Foods -A New Opportunity. Programme and Convention Papers. Wrest point Convention Centre. Hobart.
- [4] Sawitri, M. E. 1997. Memanfaatkan susu afkir menjadi makanan sehat dalam upaya menciptakan wirausaha baru di daerah sentra produksi susu di Jatim. Malang: Laporan Penelitian PPIS Universitas Brawijaya.
- [5] Evanuarini, H. 2010. Pengaruh Suhu dan Lama Pemeraman pada Inkubator terhadap Kualitas Fisik Kefir. Malang: Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya.
- [6] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book ] Buckle, K.A., R.A. Edwards, G. H. Fleet, dan M. Wooton. 1985. Ilmu Pangan (terjemahan). UI Press: Jakarta.
- [7] Faridz, S. 1992. Mikrobiologi Pangan. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [8] Hidayat. dkk. 2006. Mikrobiologi Industri. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- [9] Marth, E.H. 1983. Fermentation. Di dalam B.H.Webb, A. H. Johnson dan J. A. Alford (eds.). Fundamentals of Dairy Chemistry. Connecticut: The AVI Publ. Co., Inc.
- [10] Modul Praktikum Sistem Kontrol. Praktikum Sistem Kontrol Dasar. Malang: Laboratorium Sistem Kontrol Teknik Kontrol Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- [11] Ogata, K. 1997. Teknik kontrol Automatik. terjemahan: Edi Laksono Ir. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [12] Padaga, M. Ch. Dan Purnomo, H. 1993. Susu dan Produk Olahannya. Malang: Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya.
- [13] Robinson, R.K. dan A.Y. Tamine. 1981. Microbiology of Fermented Milks. Di dalam R. K. Robinson (ed.). Dairy Microbiology. London: Applied Science Publishers.