

OPTIMASI KENDALI PID PADA SISTEM PENGATURAN TEMPERATUR PROSES PASTEURISASI SUSU

Hariyadi Singgih¹

Abstrak

Pasteurisasi adalah proses pemanasan pada susu segar sehingga menjadi produk yang lebih tahan lama. Metode pasteurisasi ini LTLT (Suhu Rendah Long Time) memanaskan susu pada suhu 63-65°C dan dipertahankan pada suhu tersebut selama 30 menit. Dengan mengontrol suhu proses pasteurisasi diharapkan dapat membunuh patogen yang membahayakan kesehatan manusia dan meminimalkan perkembangan bakteri lain, sehingga sangat penting untuk mengontrol suhu. Sehingga dampaknya lebih jauh adalah kualitas produk dari proses pasteurisasi susu tidak baik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikembangkan controller untuk mempertahankan suhu yang stabil dalam proses pasteurisasi susu.

Metode dalam penelitian ini adalah dengan merancang sistem controller yang tertanam di kontroler PID Atmega16 untuk mengontrol aktuator dalam bentuk elemen pemanas listrik yang mendapat masukan dari sensor suhu PT 100. Mereka PID kontroler akan disimulasikan dengan Simulink Matlab.

Dari hasil pengujian dan analisis PID kontroler mempengaruhi untuk memproses waktu pemanasan suhu susu awal dari 30 ° C sampai 65 ° C, diperoleh nilai PID dengan metode tuning Ziegler-Nichols adalah $K_p = 18$, $K_i = 00:45$ dan $K_d = 180$ dengan 20 liter pengujian volume susu. grafik setpoint diperoleh dengan 65 ° C menunjukkan waktu naik (T_r) = 2400s, waktu tunda (T_d) = 140 s, waktu puncak (T_p) = 2700s, saat turun (T_s) = 3700 s, overshoot maksimum (mp) = 2 ° C, dan error steady state: 1,5%. Hasil tanggapan dari PID controller untuk menstabilkan suhu lebih cepat dan mampu mempertahankan suhu yang baik.

Kata-kata kunci: Pasteurisasi susu, PID, Atmega16, PT100

¹*Dosen Program Studi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang.*

Abstract

Pasteurization is a heating process performed on fresh milk so that it becomes a product that has a longer self life. This pasteurization method LTLT (Low Temperature Long Time) that is heating the milk to a temperature of 63-65°C and maintained at that temperature for 30 minutes. By controlling the temperature of the pasteurization process is expected to be able to kill pathogens that endanger human health and minimizing the development of other bacteria, so it is important to control the temperature. So that further impact is the quality of the products of the process of pasteurization of milk is not good. Therefore, in this research developed a controller to maintain a stable temperature in the pasteurization process of milk.

The method of the research is design the controller system that embedded in the PID controller Atmega 16 to control the actuators in the form of an electric heating element that gets input from the temperature sensor PT 100. Those the PID controller at first gets simulink with Matlab application program .

From the test results and analysis of PID controller effecting for processing time of the heating of milk starting temperature of 30°C to 65 °C , obtained PID values with Ziegler Nichols tuning method is $K_p = 18$, $K_i = 0.45$ and $K_d = 180$ with 20 liters of milk volumes testing. Setpoint graphs obtained with 65°C shows the rise time (T_r) = 2400s, the delay time (T_d) = 140 s, the peak time (T_p) = 2700s, the down time (T_s) = 3700 s, the maximum overshoot (M_p) = 2°C, and error steady state: 1.5%. Results of responses of PID controller to stabilize the temperature more quickly and is able to maintain a good temperatur.

Keywords: *Pasteurized milk, PID, ATMega 16, PT100*

1. PENDAHULUAN

Susu merupakan bahan minuman yang mempunyai kandungan gizi tinggi tetapi rentan terhadap bakteri sehingga tidak tahan lama dan mudah rusak (basi) [1]. Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan susu untuk mengoptimalkan kualitas dan ketahanan susu yang mana nantinya bisa mengurangi kerugian peternak di dalam mendistribusikan susu dan mengurangi tenaga manusia dalam pengolahan susu tersebut. Salah satu contoh pengolahan susu adalah pasteurisasi dengan cara pemanasan.

Dalam proses pemanasan dengan mengontrol suhu diharapkan akan dapat membunuh bakteri patogen yang membahayakan

kesehatan manusia dan meminimalisasi perkembangan bakteri lain, baik selama pemanasan maupun pada saat penyimpanan [1].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan alat pasteurisasi susu dengan sistem kontrol untuk mendapatkan suhu stabil yang diinginkan secara otomatis. Pada penelitian ini dicoba menggunakan metode LTLT (Low Temperature Long Time), yaitu pemanasan susu sampai pada suhu 63-65°C dan dipertahankan pada suhu tersebut selama 30 menit [1]. Agar proses pasteurisasi susu dapat dilakukan secara otomatis maka proses pemanasan dilakukan menggunakan controller PID. P (*proportional*), I (*integral*) dan D (*derivative*) dengan tujuan untuk mempercepat respon sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar (osilasi).

Tujuan penelitian adalah mencari nilai optimasi kontrol PID pada sistem pasteurisasi susu menggunakan metode LTLT (Low Temperature Long Time), yaitu pemanasan susu sampai pada suhu 63-65°C dan dipertahankan stabil selama 30 menit.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pasteurisasi Susu

Pasteurisasi susu adalah pemanasan susu di bawah temperatur titik didih dengan maksud hanya membunuh kuman ataupun bakteri patogen sedangkan spora masih dapat hidup [3]. Selain itu, proses pasteurisasi bermanfaat untuk memperpanjang daya simpan bahan atau produk, dapat menimbulkan citarasa yang lebih baik pada produk, dan dapat membunuh enzim fosfatase dan katalase yaitu enzim yang membuat susu cepat rusak [3].

Ada 2 metode yang digunakan dalam proses pasteurisasi susu yaitu :

1. LTLT (Low Temperature Long Time). Metode LTLT pada dasarnya dilakukan dengan pemanasan susu sampai suhu 63-65°C dan dipertahankan pada suhu tersebut selama 30 menit.
2. HTST (High Temperature Short Time). Sedang metoda HTST, proses pemanasan dilakukan dengan suhu tinggi

dalam waktu singkat (73-75°C) atau lebih, selama 15 – 16 detik [3].

2.2 PID (*Propositional Integral Derivativ*)

PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang diinginkan terhadap suatu alat. Aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat dan stabil, aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali differensial memiliki keunggulan meredam kurang tanggapan atau kelebihan tanggapan (Tabel 1) [4].

Tabel 1. Tanggapan Sistem Kontrol PID terhadap Perubahan Parameter

Tanggapan Loop Tertutup	Waktu Naik	Overshoot	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
Proporsional (Kp)	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral (Ki)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative (Kd)	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Dalam waktu kontinu, sinyal keluaran pengendali PID dirumuskan sebagai:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan persamaannya dalam Gambar 3 [5].

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2)$$

2.3 Sensor Temperatur (PT100)

Sensor temperatur PT100 (Gambar 4) merupakan sensor jenis RTD (Resistance Temperature Detector) yang mendeteksi suhu berdasarkan nilai tahanan atau nilai perubahan pada metal pembentuknya. Kabel RTD PT100 berjumlah 3 buah yang terdiri

dari 2 jenis, yaitu : kabel A dan B. Kabel B memiliki dua cabang yang memiliki fungsi sama, karena ujungnya diparalel. Perubahan resistansi rata – rata sebesar $0.39\Omega/^{\circ}\text{C}$ [6].



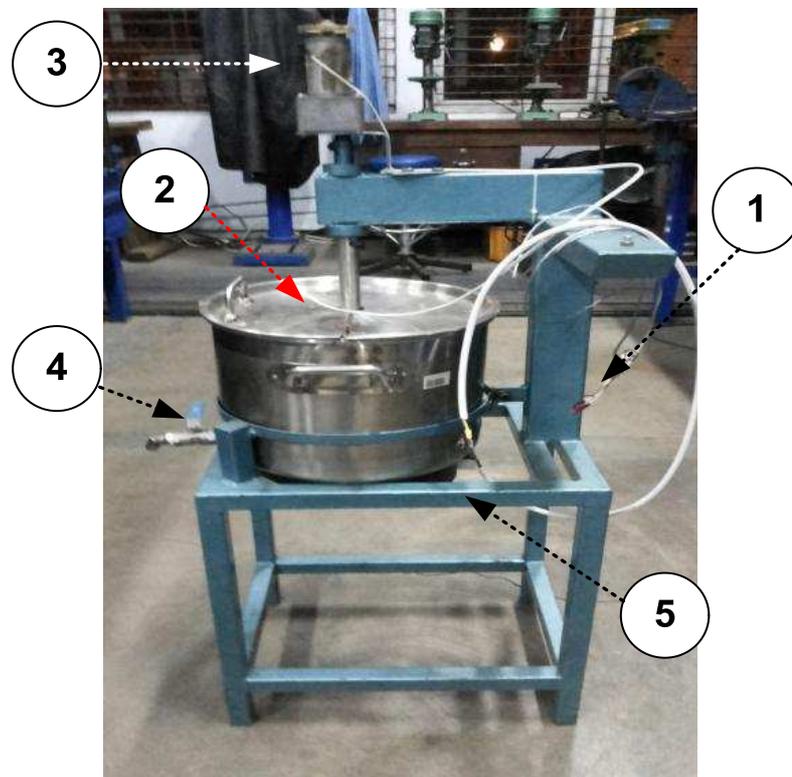
Gambar 4. Sensor Suhu PT100 [6]

3. METODE PENELITIAN

3.1 Populasi dan Sampe Penelitian

3.1.1 Membuat Desain Mekanik

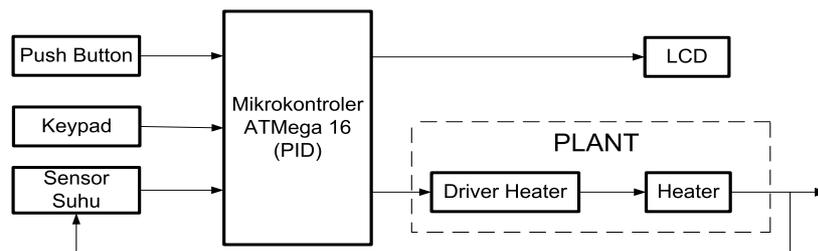
Tabung tempat penampung susu dibuat menggunakan bahan stainless steel dengan konstruksi sedemikian rupa seperti ditunjukkan Gambar 5. kapasitas bahan susu dibatasi maksimum 20 liter.



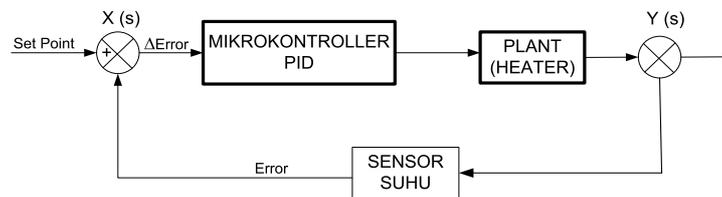
Gambar 5. Desain Mekanis Tabung Pasteurisasi Susu

3.1.2 Merancang Sistem

Disain blok Diagram sistem ditunjukkan Gambar 6. Pengontrolan pemanas digunakan sistem *closed loop*, dimana terdapat *feedback* untuk mengurangi kesalahan dan menghasilkan luaran yang dikehendaki. Sedang Gambar 7 menggambarkan sistem plant kontrolernya.



Gambar 6. Sistem Diagram Blok

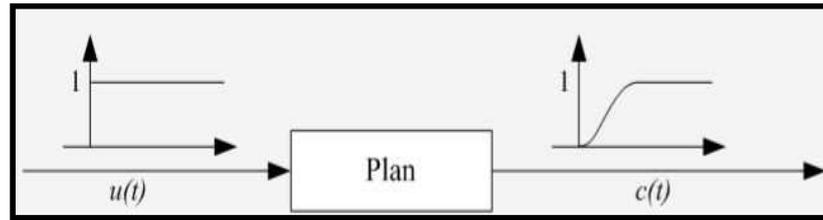


Gambar 7. Diagram Blok Plant Kontroller

3.1.3 Pemodelan Sistem

PID (*Proportional Integral Derifativ*)

Perancangan kontrol PID dalam prosesnya menggunakan rumusan umpan balik untuk pembacaan sensor temperatur PT 100. yang digunakan untuk menghitung rumus osilasi pada sebuah program. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil respon dari plant yang diperoleh secara *eksperimental* dengan masukan *unit step*, untuk mendapatkan nilai *tu* dan *ta*, seperti ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Respon Plant Terhadap Masukan Unit Step. [7]

Dengan menggunakan pendekatan deret *Taylor*, akar-akar karakteristiknya dapat dihitung sebagai berikut :

- a. Untuk orde $n = 1$, derajat pembilang sebesar-besarnya adalah orde nol :

$$G(s) = K \frac{e^{-\tau s}}{(Ts + 1)^1} \quad (3)$$

- b. Untuk orde $n = 2$, derajat pembilang adalah sebesar-besarnya orde I :

$$G(s) = K \frac{\tau e^{-\tau s} S + e^{-\tau s}}{(Ts + 1)^2} \quad (4)$$

- c. Untuk orde $n = 3$, derajat pembilang adalah sebesar-besarnya orde II :

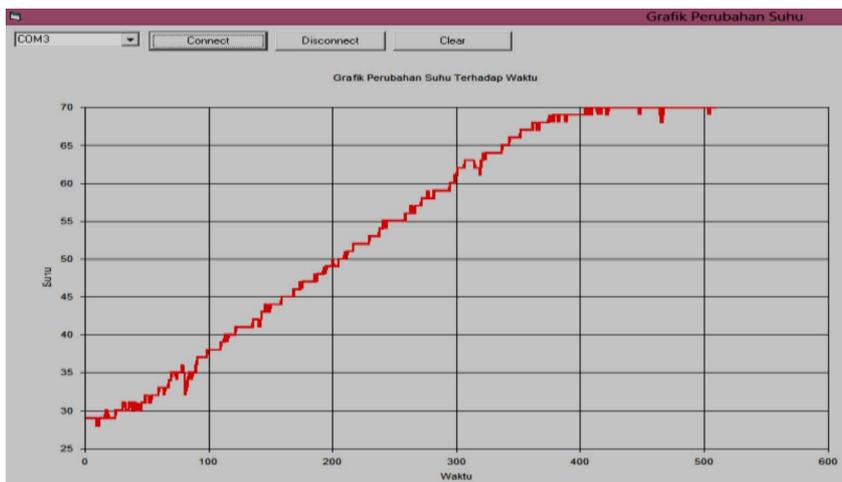
$$G(s) = K \frac{\frac{\tau}{2} e^{-\tau s} S^2 + \tau e^{-\tau s} S + e^{-\tau s}}{(Ts + 1)^3} \quad (5)$$

Setelah didapatkan fungsi alih menggunakan pemodelan *sterjc*, didapatkan hasil perhitungan *transfer function* menggunakan *deret taylor*. Selanjutnya disimulasikan menggunakan program aplikasi *matlab*. Hasil Simulasi didapatkan model sistem yang telah didesain, maka dapat ditentukan nilai : L dan T dari kurva respon Tabel 2.

Tabel 2. Paramater PID dengan metode kurva reaksi *Ziegler-Nichols* [8]

ipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	~	0
PI	0,9 T/L	/0.3	0
PID	1,2 T/L	2L	,5L

Setelah didapatkan fungsi alih dari unit step langkah selanjutnya adalah menghitung nilai K_p , T_i , dan T_d sesuai dengan aturan *Ziegler-Nichols*.



Gambar 9. Hasil Respon Awal Heater Terhadap Unit Step

Dari grafik Gambar 9, didapatkan $T_u = 220$ dan $T_a = 3000$. Maka untuk menentukan orde yang digunakan pada permodelan *strejc* dapat dilakukan dengan :

$$T_u/T_a = 0.085$$

Dengan didapatkannya nilai 0.085 maka nilai tersebut dianggap mendekati 0.1036 yaitu berada dalam orde 2. Kemudian nilai T dan τ dapat diperoleh berdasarkan tabel (Tabel 3) permodelan *strejc*, yaitu :

- $Ta/T = 2.71$
 $T = Ta/2.71$

- = 300/2.71
- = **110.7 sec**
- $Tu' = Ta \times (Tu/Ta)$
= 300 x 0.085
= **25.5 sec**
- $\tau = Tu - Tu'$
= 22 - 25.5
= **4.8 sec**

Dimana : $S = \frac{1}{T} = \frac{1}{110.7} = 0.010$

Dengan menggunakan pendekatan deret *Taylor*, akar-akar karakteristiknya dapat dihitung sebagai berikut :

Untuk orde $n = 2$, derajat pembilang adalah sebesar-besarnya orde II

$$G(s) = K \frac{\sigma e^{-\sigma s} s + e^{-\sigma s}}{(Ts+1)^2}$$

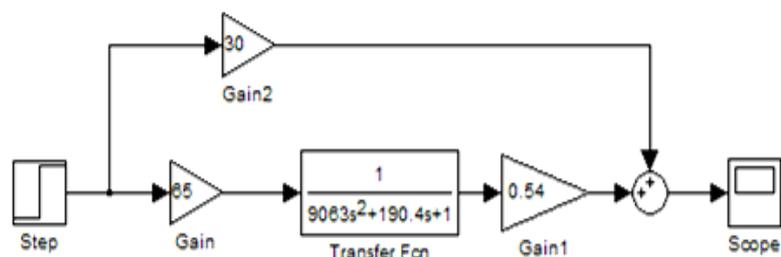
$$= K \frac{4.8e^{-4.8 \times 0.009} s + e^{-4.8 \times 0.009}}{(110.7s+1)^2}$$

Diperoleh : $K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{61.5}{65} = 0.94$

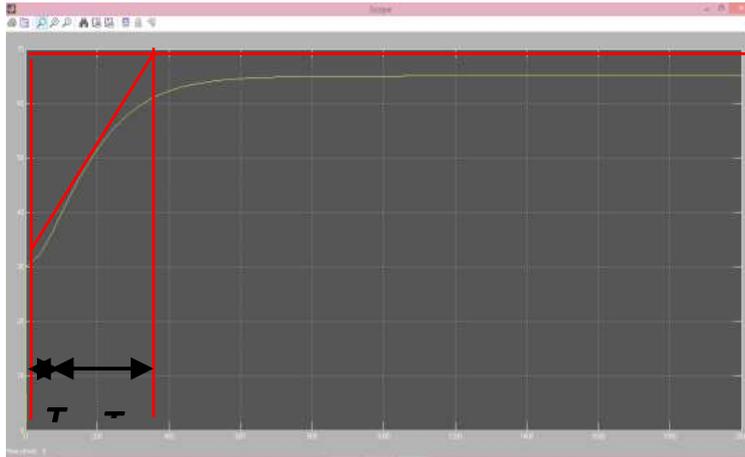
=====

3.2 Simulasi

Hasil penghitungan fungsi transfer kemudian disimulasikan menggunakan program aplikasi Matlab, ditunjukkan dalam Gambar 10, hasil fungsi transfernya ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 10. Diagram Dimulasi Fungsi Transfer PID dengan Metode Strejc.



Gambar 11. Hasil Simulasi Matlab [9].

Parameter-parameter PID didapat langsung dari grafik simulasi :

$$L = 20 \text{ s}$$

$$T = 300 \text{ s}$$

Maka nilai K_p , K_i , dan K_d dapat dihitung sebagai berikut :

$$K_p = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times \frac{300}{20} = \mathbf{18}$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 20 = 40$$

$$T_d = 0,5 \times L = 0,5 \times 20 = 10$$

Sedangkan nilai K_i dan K_d dapat dicari dengan persamaan berikut:

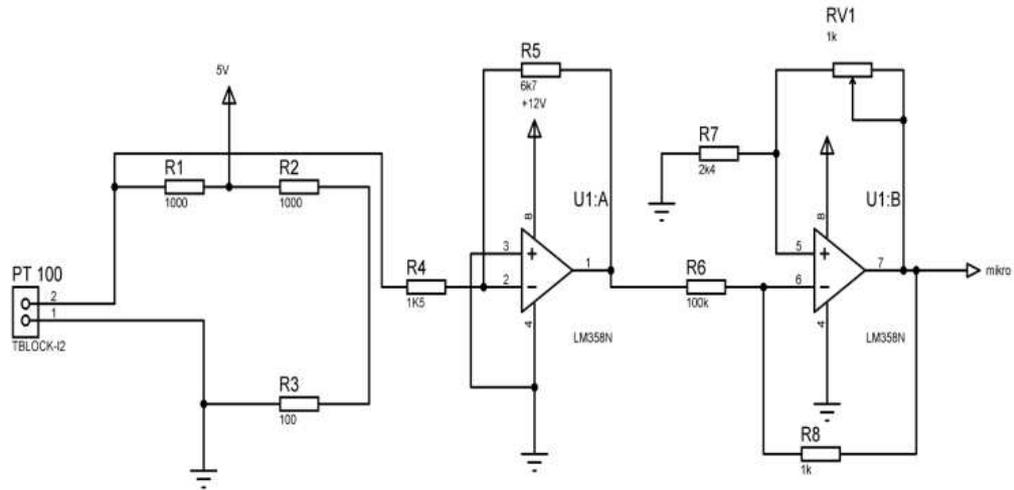
$$K_i = \mathbf{0.45}$$

$$K_d = K_p \times T_d = 18 \times 10 = \mathbf{180}$$

3.3 Perancangan *Hardware* Elektronik

3.3.1 Perancangan Sensor Temperatur

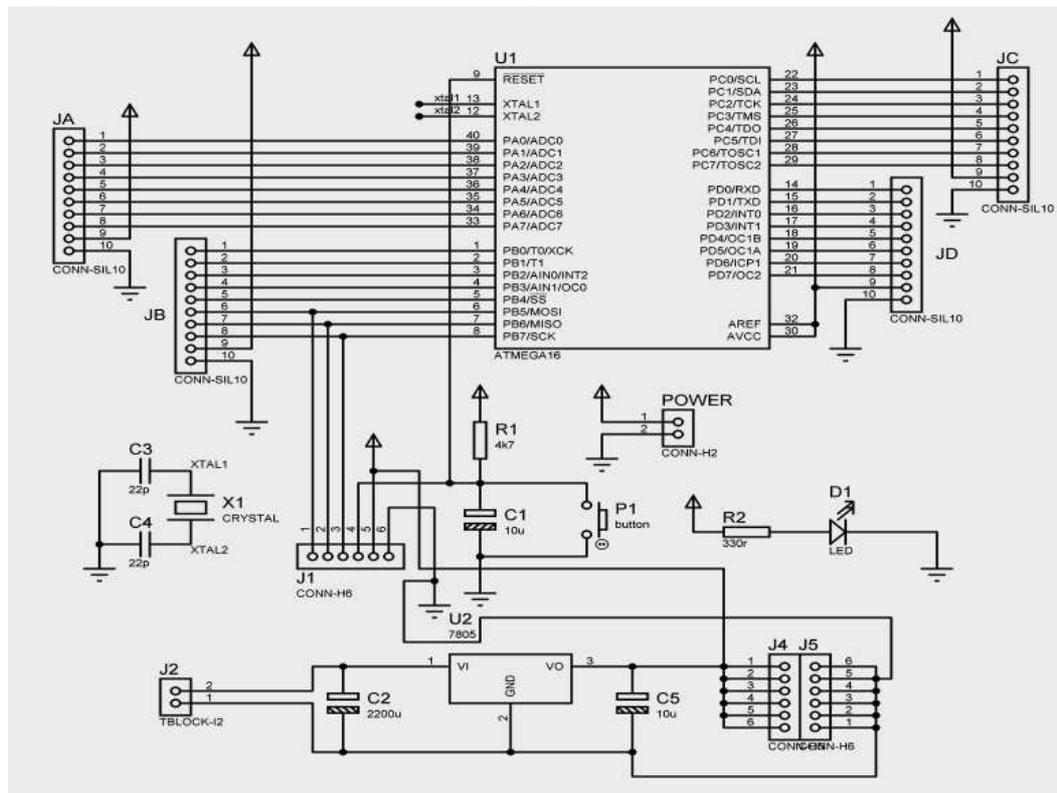
Rangkaian sensor temperature digunakan piranti PT 100. yang memiliki sifat sensitif terhadap perubahan temperatur dengan range perubahan 1°C akan menghasilkan resistansi 0.39Ω dan mempunyai jangkauan range dari -200°C sampai $+800^\circ\text{C}$. Gambar 12 menunjukkan rangkaian sensor temperature, yang menggabungkan antara rangkaian jembatan *wheatstone* dengan rangkaian op-amp (penguat).



Gambar 12. Rangkaian Sensor Temperatur PT-100

3.3.2 Perancangan Embedded System Atmega 16

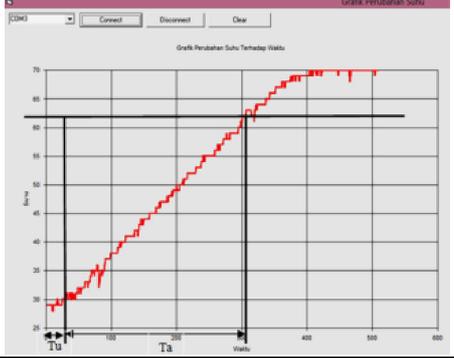
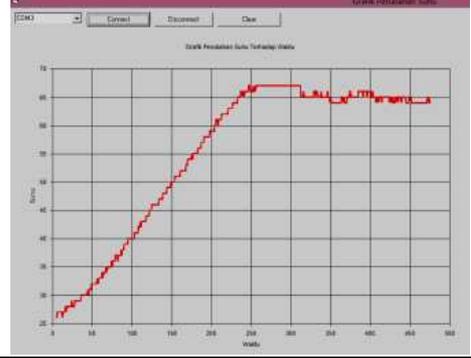
Rangkaian controller digunakan ATmega 16 Gambar rangkaian minimum sistem ditunjukkan dalam Gambar 13.



Gambar 13. Rangkaian Minimum Sistem Atmega 16

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Simulasi Kontrol Proportional, Integral, Derivative (PID)

No.	Data Pengujian Simulasi Sebelum Diberikan Kontrol PID	Data Pengujian Simulasi Setelah Diberikan Kontrol PID
1.		

Gambar 14. Pengujian Simulasi Menggunakan MatLab

Pada Gambar 14 setelah diperoleh respon grafik dengan memberikan nilai $K_p = 18$, $K_i = 0.45$ dan $K_d = 180$, menunjukkan waktu naik (T_r) = 2400s, waktu tunda (T_d) = 140 s, waktu puncak (T_p) = 2700s, waktu turun (T_s) = 3700 s, maksimal overshoot (M_p) = 2°C dan error *steady state* : 1.5%.

Dengan digunakannya kontrol PID (Gambar : 15) proses pemanasan bahan susu, kenaikan suhu sangat lambat namun waktu yang dicapai pada saat diberi kontrol PID lebih cepat dan dapat mencapai keadaan *steady state* cukup cepat dibandingkan tanpa kontrol PID

4.2 Pengujian dan Pengukuran Sistem Riil.

Setelah dilakukan pengujian simulasi, langkah selanjutnya melakukan pengujian *riil* sistem, menggunakan kontrol PID pada proses *pasteurisasi susu* dengan *setpoint* suhu maksimum : 65°C menggunakan kapasitas susu 10 Liter dan 20 Liter dan dilihat pula waktu /lama pemanasan sampai dengan *setpoint*. 65°C. Masing-masing dilakukan sebanyak 3-kali pengujian. Data hasil pengujian masing-masing diberikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem dengan Bahan Uji Susu Kapasitas 10 dan 20 Liter

No.	Uji Kapasitas 10 Liter	Uji Kapasitas 20 Liter
1		
2		
3		

Data visual dalam Tabel 3. menggunakan bahan uji susu 10 liter dilakukan pengujian sistem sebanyak 3 kali. Pada pengujian pertama waktu yang dapat dicapai hingga *setpoint* yaitu : **16 menit 23 detik** dengan error pembacaan suhu sebesar : **0%**. Pada pengujian kedua waktu yang dapat dicapai sampai hingga *setpoint* yaitu : **15 menit 55 detik** dengan error pembacaan suhu : **1.5%**. Sedangkan pada pengujian ketiga didapatkan waktu yang dicapai sampai hingga *setpoint* yaitu : **14 menit 25 detik** dengan error pembacaan suhu : **1.5%**.

Pada pengujian sistem dengan menggunakan kapasitas susu 10 liter, terdapat perbedaan capaian waktu *setpoint*.

Data visual dalam Tabel 3 dapat dilihat, dengan menggunakan bahan uji susu 20 liter dilakukan pengujian sebanyak 3 kali. Pada pengujian pertama capaian waktu sampai dengan *setpoint* yaitu : **31 menit 25 detik** dengan error pembacaan suhu sebesar **0%**. Pada pengujian kedua waktu yang dapat dicapai sampai dengan *setpoint* yaitu : **31 menit 26 detik**

dengan *error* pembacaan suhu **0%**. Sedangkan pada pengujian ketiga yaitu : **30 menit 20 detik** dengan *error* pembacaan suhu **0%**.

Data visual dalam Tabel 3, pengujian sistem dengan menggunakan kapasitas susu : 20 liter, terdapat perbedaan waktu capaian sampai dengan *setpoint*, akan tetapi perbedaan tersebut masih dapat dikatakan relative baik karena hanya terdapat selisih waktu dalam orde detik. Sedangkan pada pembacaan suhu dapat dikatakan sangat baik karena mempunyai rata – rata *error* sebesar **0 %**.

5. KESIMPULAN

Hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran yaitu :

1. Kinerja piranti sensor temperature PT100 cukup linier memiliki kesalahan sebesar : 0,03 %. sehingga dapat digunakan sebagai sensor temperature pada proses pasteurisasi susu.
2. Pada proses pemanasan susu menggunakan kontrol PID dengan bahan uji susu 10 liter dibutuhkan waktu selama 2400 detik dengan nilai ***Kp = 18, Ki = 0.45 dan Kd = 180*** dengan *error steady state* sebesar : 1.5% .
3. Pada pengujian sistem dengan bahan uji susu sebanyak : 10 liter dan 20 liter waktu yang diperlukan hingga dicapai *setpoint* antara uji percobaan 1 hingga 3 semakin cepat (uji percobaan-1 lebih lambat), karena ***diperlukan waktu pengkondisian awal***. Pada pengujian ke 2 dan ke 3 suhu pada tangki lebih panas sehingga waktu yang diperoleh lebih cepat.
4. Sedangkan pembacaan suhu pada pengujian sistem dengan kapasitas susu 10 liter dan 20 liter sangat baik karena hanya mempunyai kesalahan (*error*) sebesar : 1% dan 0%.

Saran yang bisa diberikan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk merancang konstanta ***Kp, Ki*** dan ***Kd*** disarankan menggunakan *software* selain Visual Basic. Tujuan untuk

mengetahui perbandingan respon yang dihasilkan dengan menggunakan *software* lain.

2. Menambahkan sistem pendingin (*cooling system*) setelah proses pasteurisasi susu selesai, agar hasil pasteurisasi susu dapat lebih maksimal.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hartayanie, Laksmi dan Ita Sulistyawati. 2010. *Sentuhan Teknologi Untuk Meningkatkan Nilai Susu Sapi*. Semarang : Unika Soegijapranata, Fakultas Teknologi Pertanian.
- [2] Dirjen Industri Argo dan Kimia., 2009. *Road Map Industri susu*. Departemen Perindustrian Jakarta.
- [3] Kustanti, Ika. 2012. *Otomatisasi Proses Mixing Pada Susu Pasteurisasi*. Malang : Universitas Brawijaya, Jurusan Teknik Elektro.
- [4] Yudho, Bhakti dan Hera Hikmarika. 013. *Aplikasi Perbandingan Pengendali P, PI, dan PID Pada Proses Pengendalian Suhu Dalam Sistem Mini Boiler*. Palembang : Universitas Sriwijaya, Jurusan Teknik Elektro.
- [5] Pratomo, Teguh Budi dan Andi Dharmawan. 2013. *Purwarupa Sistem Kendali Suhu dengan Pengendali PID Pada Sistem Pemanas Dalam Proses Refluk/ Distilasi*. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada, Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika.
- [6] Roshana, Linda. 2010. *Rancang Bangun Sistem Pasteurisasi Susu Mentah Berbasis Mikrokontroler AT89S51*. Semarang : Universitas Diponegoro, Jurusan Fisika.