

# Desain Miniatur Pasteurisasi Susu Berbasis PLC sebagai Pengembangan Modul Pembelajaran di Laboratorium Sistem Kontrol

Rahma Nur Amalia<sup>(1)</sup>, Ika Noer Syamsiana<sup>(2)</sup>, Ira Zulfa<sup>(3)</sup>

(Artikel diterima Juli 2021, direvisi: Oktober 2021)

**Abstrak:** Modul pasteurisasi yang telah dirancang dan dibuat menggunakan PLC tipe TWDLMDA20DTK sebagai kontrolernya dengan bantuan ekspansi berupa TM2AMM6HT. Komponen yang terdapat pada modul antara lain, valve solenoid, heater, RTD, SRPH1, serta sistem pendingin. Tegangan dari sumber kemudian di sambungkan ke kontrol box kemudian dikontrol oleh PLC TWDLMDA20DTK dan ekspansinya yaitu TM2AMM6HT. Semua komponen akan bekerja sesuai cara kerja sistem yang diinginkan yakni suhu dapat stabil sebesar 63° C selama 30 menit dengan kontrol PID auto tunning. Proses tersebut dilakukan dengan cara memprogram ladder diagram pada aplikasi TwidoSuite. Penyetabilan cara kerja dari modul tersebut diatur dengan metode auto tunning, dimana proses tersebut secara otomatis akan menghasilkan nilai Kp, Ti, serta Td yang terdapat pada Ladder diagram. Proses tersebut dilakukan agar didapatkan cara kerja sistem yang stabil dengan parameter yang diharapkan. Parameter yang diharapkan tersebut antara lain, nilai error steady state yang rendah senilai 5 – 10 %.

**Kata kunci :** Pasteurisasi susu, PLC TWDLMDA20DTK, Ekspansi TM2AMM6HT, PID Auto Tunning, RTD, SRPH1, error steady state, overshoot, rise time, settling time.

## 1. Pendahuluan

Susu merupakan cairan putih yang berasal dari hewan ternak terutama berasal dari hewan sapi. Susu yang telah diperah mengandung berbagai macam jenis kandungan gizi yang baik untuk kesehatan tubuh, karena kaya akan protein, lemak, karbohidrat, mineral dan vitamin. Nilai gizi dari susu sapi yang sangat tinggi, menjadikan susu sebagai medium yang baik untuk berkembang biakan mikroorganisme seperti bakteri, sehingga dalam waktu yang singkat kandungan susu akan rusak dan menyebabkan penyakit pada konsumen yang mengkonsumsinya. Kerusakan pada susu dapat diminimalisi dengan berbagai cara salah satunya yakni dengan cara pasteurisasi. Pasteurisasi dilakukan untuk tujuan menghambat pertumbuhan mikroorganisme dari kelompok *psikotro*, sehingga susu tidak rusak, dapat disimpan lebih tahan lama, serta aman untuk dikonsumsi. Produksi susu dengan teknik pasteurisasi telah menurunkan ancaman penyebaran penyakit melalui susu seperti *tuberculosis* (TBC), *brucellosis* dan lain sebagainya [1]. Proses pasteurisasi melalui beberapa tahap yaitu Proses pasteurisasi dimulai dari proses mengalirkan susu serta penambahan perasa pada susu (perisa susu) dari *Balance Tank* dengan bantuan pompa. Pada proses ini aliran susu dipertahankan secara konstan oleh *flow control* agar pasokan susu tidak terganggu, hal ini dilakukan untuk mencegah adanya proses penggumpalan (terbakar) pada produksi yang lebih awal,

karena proses pasteurisasi terjadi secara terus menerus (kontinyu). Susu kemudian dipanaskan secara *regenerative preheating* mencapai suhu 55°C pada suhu dan dalam waktu tertentu sesuai dengan jenis dari pasteurisasi. Susu yang telah dipanaskan kemudian didinginkan mencapai suhu 5°C atau lebih rendah. Panas dari susu yang didinginkan akan di daur ulang kembali untuk memanaskan susu pada proses pemanasan dengan presentase panas 94 – 95% (*regenerative preheating*) [10].

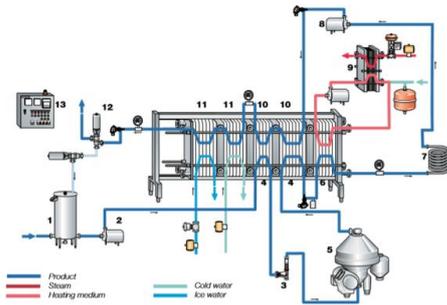
Dari permasalahan tersebut, maka penulis melakukan pembuatan miniatur pasteurisasi susu yang dikontrol dengan PLC. Kontrol PLC digunakan untuk mengontrol suhu yang diinginkan (*setpoint*) serta agar sistem dapat beroperasi dengan stabil (*error* berkurang). Nilai parameter suhu tersebut dapat ditampilkan pada laptop dengan aplikasi *TwidoSuite*.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Pasteurisasi

Pasteurisasi merupakan sebuah proses pemanasan bahan makanan yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme yang ada di dalam bahan makanan tersebut. mikroorganisme tersebut antara lain seperti bakteri, virus, protozoa, kapang, dan khamir (*yeast*) agar susu lebih tahan lama. Proses pasteurisasi merupakan proses pemanasan dengan suhu yang relatif cukup rendah (dibawah 100°C) dengan tujuan untuk menginaktivasi enzim dan

membunuh mikroba pembusuk. Pada suhu dan waktu tertentu, bakteri patogen akan mati [2].

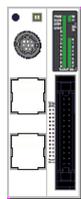


Gambar 2. 1 Proses Pasteurisasi

Terdapat beberapa jenis pasteurisasi berdasarkan suhu dan waktu pemanasan susu, yaitu metode LTLT dengan pemanasan pada suhu 63 - 65°C selama 30 menit, metode HTST dengan pemanasan pada suhu 72 - 75°C, metode *Ultra Pasteurisation* dengan pemanasan 125 - 138°C selama 2 - 4 detik, serta UHT dengan pemanasan pada suhu 135 - 140°C selama beberapa detik.

## 2.2. PLC (Programmable Logic Controller)

PLC (*Programmable Logic Controller*) yaitu kendali logika terprogram merupakan suatu piranti elektronik yang dirancang untuk dapat beroperasi secara digital dengan menggunakan memori sebagai media penyimpanan instruksi - instruksi internal untuk menjalankan fungsi - fungsi logika seperti fungsi pencacah, fungsi waktu, fungsi urutan proses, fungsi aritmatika dan fungsi yang lainnya.



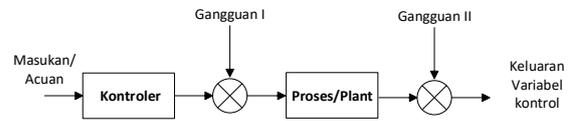
Gambar 2. 2 PLC TWDL200DTK

## 2.3 Sistem Kontrol

Sistem yaitu kombinasi dari komponen-komponen yang bekerja bersama-sama untuk melakukan suatu tujuan. Sistem kontrol adalah kombinasi dari komponen-komponen yang bekerja bersama-sama secara timbal balik dengan membentuk konfigurasi sistem yang memberikan suatu hasil yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil yang dimaksud adalah tanggapan sistem (*system response*).

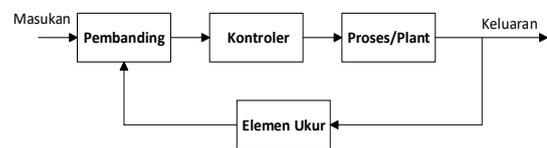
Terdapat 2 jenis sistem kontrol yaitu, sistem kontrol *open loop* dan sistem kontrol *close loop*. Sistem kontrol *open loop* ialah

sistem kontrol yang terbuka yaitu yang keluarannya tidak mempengaruhi terhadap aksi pada kontroler. Pada sistem kontrol *open loop* hasil keluaran tidak digunakan sebagai pembanding untuk masukannya.



Gambar 2. 3 Sistem Kontrol Open Loop

Sistem kontrol *close loop* adalah sistem kontrol yang tertutup atau disebut juga sistem kontrol umpan balik. Sistem kontrol ini keluarannya akan berpengaruh terhadap aksi pada kontroler. Pada sistem kontrol *close loop* hasil keluaran akan digunakan sebagai pembanding untuk masukannya dengan mendeteksi keluaran lalu meminimalisir selisih antara masukan dan keluaran sistem.



Gambar 2. 4 Sistem Kontrol Close Loop

### 2.3.1 Spesifikasi Tanggapan wawasan waktu

Sistem kontrol linier karakteristiknya ditentukan oleh tanggapan peralihan yang sering dilakukan dengan fungsi tangga satuan (*unit step*) sebagai input. Tanggapan dari suatu sistem kontrol ketika masukan merupakan fungsi *unit step* maka tanggapan itu disebut *unit step response*. Berdasarkan acuan terhadap tanggapan *unit step*, kriteria peforma yang umum digunakan guna memberi suatu ciri pada sistem kontrol linier dalam kawasan waktu yaitu :

#### 1. Lewatan Maksimum (*Maximum Overshoot*)

Misalkan  $c(t)$  adalah *unit step response*. Misalkan  $c_{max}$  adalah nilai maksimum dari  $c(t)$  dan  $c_{ss}$  adalah keadaan *steady-state*. *Maximum Overshoot* yaitu :

$$\text{Maximum Overshoot} = c_{max} - c_{ss}$$

*Maximum Overshoot* digambarkan dalam prosentase nilai akhir

$$\% \text{ Maximum Overshoot} = \frac{\text{Maximum Overshoot}}{c_{ss}} \times 100\%$$

#### 2. Waktu tunda

Waktu tunda  $t_d$  adalah waktu yang diperlukan oleh *step response* untuk mencapai 50% dari nilai akhir.

#### 3. Waktu naik (*Rise Time*)

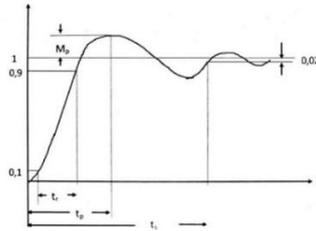
Waktu naik  $t_r$  adalah waktu yang diperlukan oleh *step response* untuk naik dari 10% - 90% dari nilai akhir.

#### 4. Waktu penetapan (*setting time*)

Waktu naik  $t_s$  adalah waktu yang diperlukan oleh *step response* untuk berkurang dan bertahan pada presentase tertentu dari harga akhir. Biasanya nilainya sebesar 5%.

**5. Waktu puncak (peak time)**

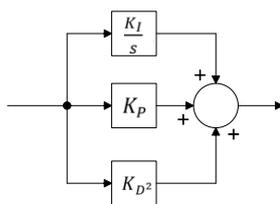
Waktu naik  $t_p$  adalah waktu yang diperlukan oleh *step response* saat pertama kali mengalami *overshoot* [6].



Gambar 2. 5 Tanggapan Sistem Orde Kedua

**2.3.2 PID**

PID adalah pengendali yang banyak digunakan pada sistem kontrol di dalam proses industri pada saat ini. Pengendalian PID menentukan keakuratan dengan adanya umpan balik pada suatu sistem. Komponen PID terdiri tiga komponen yaitu *Proposional*, *Integral* dan *Derivative*. Ketiganya dapat dikombinasikan atau dipakai sendiri-sendiri, tergantung respon yang diinginkan terhadap alat yang digunakan. Kendali *Proposional* memiliki keunggulan waktu naik lebih cepat, kendali *Integral* memiliki kelebihan memperkecil *error*, dan kendali *Derivative* memiliki kelebihan meredam kekurangan dan kelebihan tanggapan [7].



Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler PID

PID terdiri dari 3 algoritma, yaitu sebagai berikut :

**1. Kontroler P (Proposional)**

Fungsi alih pada kontroler P (*Proposional*) yaitu :

$$G_c(s) = K_P$$

Kontroler ini digunakan pada tanggapan peralihan (*transient*) yang hanya memiliki fungsi penguatan saja. Kontroler P memiliki keunggulan waktu naik (*rise time*) yang cepat.

**2. Kontroler PI (Proposional Integral)**

Fungsi alih pada kontroler PI (*Proposional Integral*) yaitu :

$$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s} = \frac{K_P s + K_I}{s}$$

Kontroler ini digunakan sebagai kompensator *fasa-tertinggal* dan untuk memperbaiki tanggapan *steady-state* pada sistem serta memperbaiki *error* .

**3. Kontroler PD (Proposional Derivative)**

Fungsi alih pada kontroler PD (*Proposional Derivative*) yaitu :

$$G_c(s) = K_P + K_D s = K_P (s + \frac{K_D}{K_P})$$

Kontroler ini digunakan sebagai kompensator *fasa-mendahului* dan memperbaiki tanggapan *transient* pada sistem.

**4. Kontroler PID (Proposional Integral Derivative)**

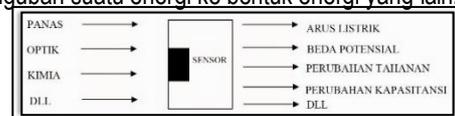
Fungsi alih pada kontroler PID (*Proposional Integral Derivative*) yaitu :

$$G_c(s) = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s}$$

Kontroler ini pada bagian PI untuk memberikan tanggapan *steady-state* yang yang memuaskan dan bagian PD digunakan untuk memperbaiki tanggapan peralihan (*transient*) [6]. Respon waktu sistem kendali terdiri dari respon "*transien*" dan "*steady state*". Respon *transient* adalah respon sistem yang berlangsung dari keadaan awal sampai keadaan akhir, sedang respon *steady state* adalah kondisi keluaran sesudah habis respon transien hingga waktu relatif tak terhingga.

**2.4 Sensor**

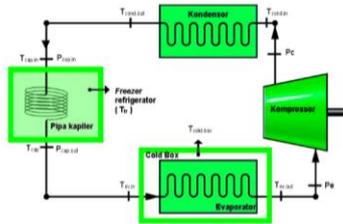
Sensor merupakan piranti atau komponen yang digunakan untuk mendeteksi suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat di analisa dengan rangkaian listrik tertentu. Transduser dapat didefinisikan sebagai suatu piranti yang dapat mengubah suatu energi ke bentuk energi yang lain.



Gambar. 2. 7 Masukan dan keluaran sensor

**2.5 Mesin Pendingin**

Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Komponen utama dari mesin pendingin yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi (pipa kapiler) serta refrigeran sebagai fluida kerja yang bersirkulasi pada bagian-bagian tersebut.



Gambar 2.8 Skema Sistem Pendingin

### 3. Metodologi

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian berada di laboratorium Sistem Kontrol Jurusan Elektro Teknik Listrik Gedung AK 1.13 Politeknik Negeri Malang. Waktu penelitian ini berlangsung pada bulan November 2020 sampai Juni 2021.

#### 3.2. Studi Literatur

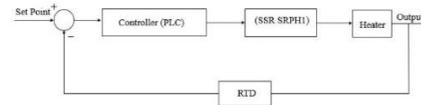
Pada pembuatan modul pembelajaran proses pasteurisasi susu, dimulai dengan pengumpulan data literatur perancangan modul pembelajaran pasteurisasi susu. Hal ini memungkinkan kita untuk menyelesaikan alat tersebut dengan baik dan benar baik dalam software maupun hardware, serta mencari berbagai sumber literatur yang membahas tentang elemen-elemen yang digunakan dalam pembuatan alat pasteurisasi susu. Seperti *data sheet* komponen dan jurnal-jurnal lainnya. Sumber literatur yang didapat dari buku-buku pendukung, *website* dan jurnal ilmiah sebagai media informasi penunjang laporan tugas akhir.

#### 3.3. Flow Chart Perancangan Alat



Gambar 3. 1 Flow Chart Perancangan Alat

### 3.4. Diagram Close Loop

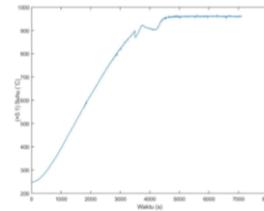


Gambar 3. 2 Diagram Close Loop Proses Pasteurisasi

### 4. Pembahasan

#### 4.1. Analisis Percobaan PID Open Loop dengan metode Trial and Error

Percobaan dengan metode PID *close loop* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *error* serta seberapa tidak stabilnya sistem ketika beroperasi. Hasil percobaan yang dilakukan PID *open loop* ialah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik percobaan Open Loop dengan Metode Trial and Error

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa ketika sistem dalam keadaan PID *open loop*, menyebabkan sistem tersebut beroperasi secara tidak stabil, tidak bisa mencapai nilai *setpoint*, sehingga dibutuhkan metode lain agar sistem bisa mencapai *setpoint*.

#### 4.2. Analisis Pengujian PID Close Loop dengan metode Trial and Error

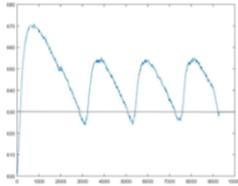
Percobaan dengan PID, dilakukan dengan menginputkan nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , serta  $T_d$  kedalam *adder* diagram. Nilai – nilai tersebut diinputkan secara acak. Hasil percobaan sebagai berikut :

Tabel 4.1. hasil percobaan

Konstanta Kendali			Respon			
$K_p$	$T_i$	$T_d$	Rise Time (s)	Overshoot (%)	Settling Time (s)	Error Steady State (%)
1,5	1	1	28:31:00	6,34	29:10:00	3,8
2,5	1	1	31:18:00	5,39	33:46:00	2,85
5	1	1	27:17:00	6,03	28:35:00	2,69
2,5	1	5	30:15:00	6,34	31:45:00	2,85
2,5	1	10	31:00:00	5,71	33:40:00	2,85
2,5	5	10	28:22:48	7,61	30:33:42	5,07
2,5	20	10	31:54:04	10,79	34:09:04	8,73

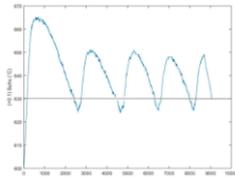
• **Grafik sistem dengan beberapa nilai konstanta kendali yang diacak**

1. Nilai Kp 1,5, Ti 1 dan Td 1



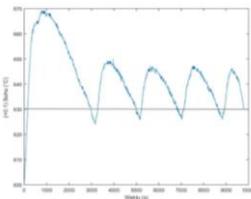
Gambar 4.2 Grafik percobaan Close Loop Kp 1,5, Ti 1 dan Td 1 dengan Metode Trial and Error mulai suhu 60°C

2. Nilai Kp 2,5, Ti 1 dan Td 1



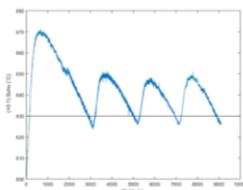
Gambar 4.3 Grafik percobaan Close Loop Kp 2,5, Ti 1 dan Td 1 dengan Metode Trial and Error mulai suhu 60°C

3. Nilai Kp 5, Ti 1 dan Td 1



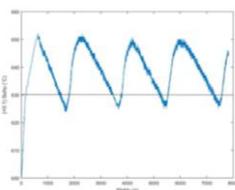
Gambar 4.4 Grafik percobaan Close Loop Kp 5, Ti 1 dan Td 1 dengan Metode Trial and Error mulai suhu 60°C

4. Nilai Kp 2,5, Ti 1 dan Td 5



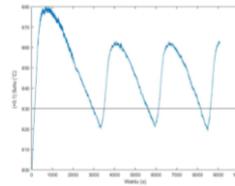
Gambar 4.5 Grafik percobaan Close Loop Kp 2,5, Ti 1 dan Td 5 dengan Metode Trial and Error mulai suhu 60°C

5. Nilai Kp 2,5, Ti 1 dan Td 10



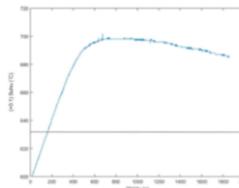
Gambar 4.6 Grafik percobaan Close Loop Kp 2,5, Ti 1 dan Td 10 dengan Metode Trial and Error mulai suhu 60°C

6. Nilai Kp 2,5, Ti 5 dan Td 10



Gambar 4.7 Grafik percobaan Close Loop Kp 2,5, Ti 5 dan Td 10 dengan Metode Trial and Error mulai suhu 60°C

7. Nilai Kp 2,5, Ti 20 dan Td 10



Gambar 4.8 Grafik percobaan Close Loop Kp 2,5, Ti 20 dan Td 10 dengan Metode Trial and Error mulai suhu 60°C

Hasil percobaan dengan konstanta Kp 2,5 Ti 1 dan Td 1 memiliki nilai *overshoot* yang paling kecil, waktu *rise time* dan *settling time* yang dihasilkan lebih lambat daripada konstanta kendali dengan Kp 2,5, Ti 1 dan Td 1, serta nilai *error steady statenya* lebih besar yakni dengan nilai 2,85%, pada pengujian dengan konstanta kendali ini suhu yang dihasilkan lebih mendekati nilai *set point* daripada konstanta kendali Kp 5, Ti 1 dan Td 1, sehingga konstanta kendali yang baik digunakan pada sistem ialah konstanta kendali dengan Kp 2,5 Ti 1 dan Td 1.

**4.3 Pengujian keseluruhan sistem**

Pengujian sistem secara keseluruhan diperlukan untuk mengetahui peforma sistem secara keseluruhan serta mengamati seberapa cepat sistem berjalan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 2,5 liter susu segar dengan tambahan perisa 0,5 liter. Pengujian dimulai dari tangki penyimpanan susu dan tangki perisa lalu ke proses pasteurisasi hingga proses pendinginan. Pada proses pasteurisasi menggunakan *setpoint* 63°C dengan *tuning* PID Kp 2,5 Ti, 0,1 dan Td 0,1. Pada proses pendinginan menggunakan *setpoint* 10°C.

No.	Proses	Suhu Awal (°C)	Setpoint (°C)	Waktu (Menit)
1.	Pengisian Tangki Pemanas	22,3	-	15.00
2.	Pemanasan awal	40	-	40.29
2.	Pasteurisasi	63,0	63,0	30.00
3.	Pengisian Tangki Pendingin	63	-	15.00
4.	Pendinginan	62,9	10,0	175.54
Total				276.23

Tabel 4. 1 Hasil Percobaan Keseluruhan Sistem

	Proses	Daya Heater (Watt)	V Heater (Volt)	Daya Kompresor (Watt)	V Kompresor (Volt)
1.	Pengisian pada Tangki Pemanas	-	-	-	-
2.	Pemanasan awal	991,68	220	-	-
2.	Pasteurisasi	44,4	74	-	-
3.	Pengisian pada Tangki Pendingin	-	-	-	-
4.	Pendinginan	-	-	74,57	220

Tabel 4. 6 Hasil Percobaan Keseluruhan Sistem

Data hasil pengujian pada tabel 4.5 dan 4.6 proses pengisian tangki membutuhkan waktu yang sedikit lama dikarenakan hanya menggunakan perbedaan ketinggian tangki tidak menggunakan *waterpump*. Pada proses pasteurisasi hasilnya cukup baik suhu akhir tidak jauh dari *setpoint* yaitu 63°C. Pada proses pendinginan membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai suhu 10 °C.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian sistem yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Waktu yang dibutuhkan oleh sistem pada proses pemanasan susu dari suhu ruang yaitu 28°C sampai suhu mencapai *set point* sebesar 63°C, yaitu selama 40.29 menit dengan daya *heater* sebesar 991,68 *watt* serta pada tegangan sebesar 220 *volt*, kemudian waktu yang dibutuhkan oleh sistem pada proses pasteurisasi dengan suhu stabil sebesar 63°C, selama 30 menit daya *heater* sebesar 44,4 *watt* serta pada tegangan sebesar 74 *volt*. Pada proses pendinginan dari suhu *set point* sebesar 63°C mencapai suhu 10°C, membutuhkan waktu selama 175.54

menit dengan daya kompresor sebesar 74,57 *watt* serta pada tegangan sebesar 220 *volt*.

2. Sistem pasteurisasi ini berhasil beroperasi dengan baik karena adanya sistem kontrol suhu yaitu PID yang menyebabkan suhu pada sistem ini stabil sesuai dengan *setpoint* yaitu sebesar 63°C konstan selama 30 menit, dengan nilai konstanta kendali yakni Kp 2,5, Ti 1 dan Td 1 dengan metode *trial and error*, sistem kontrol bekerja dengan mengontrol tegangan yang masuk ke dalam SSR SRPH1 yang merupakan *driver heater*, sehingga tegangan pada *heater* konstan sebesar 74 *volt*.
3. Hasil yang didapatkan dari proses pengujian sistem dengan metode PID *Close Loop* dapat mengurangi *error steady state* dan mengurangi osilasi pada sistem, sehingga sistem dapat beroperasi dengan stabil pada proses pemanasan dan pendinginan susu sebanyak 2,5 liter dengan tambahan perisa sebanyak 0,5 Liter selama 276.23 menit dengan *error steady state* sebesar 2,85% dengan nilai *overshoot* sebesar 5,39%.

## Daftar Pustaka

- [1] Hartayanie, Laksmi., dan I. Sulistyowati. (2010). "Sentuhan Teknologi untuk Meningkatkan Nilai Ekonomi Susu Sapi",. Renai : Kajian Politik dan Sosial Humaniora, 10(1).ISSN 1411-7924, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang.
- [2] Kustanti, Ika. (2012). "Otomatisasi Proses Mixing Pada Susu Pasteurisasi", Universitas Brawijaya, Malang.
- [3] Soeparno., dan Nurliyani. (2009). "Ilmu dan Pangan Lokal Hasil Ternak: Sub Susu dan Produk Susu", In:Ilmu dan Pangan Lokal Hasil Ternak. CV. Bawah Sadar, Yogyakarta,pp. 26-43. ISBN 978-979-1215-14-5.
- [4] Legowo, Anang Mohamad. (2002). "Sifat Kimiawi, Fisik dan Mikrobiologis Susu", Diklat Kuliah: Program Studi Teknologi Hasil Ternak, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5] Budiyanto, M., A. Wijaya. 2006. "Pengenalan Dasar-Dasar PLC (Programmable Logic Controller) Disertainya Conoth Aplikasinya",. Edisi Pertama. Cetakan Kedua. Gava Media, Yogyakarta.
- [6] Hakim, E. A. (2012). "Sistem Kontrol". Malang: UMM Press.
- [7] Singgih, Hariyadi. 2016. "Optimasi Kendali PID Pada Sistem Pengaturan Temperatur Proses Pasteurisasi Susu". Malang: Politeknik Negeri Malang , Jurusan Teknik Elektro.
- [8] Kustija, Jaja. 2012. "sistem Sensor dan Tranduser".
- [9] Anwar, Khairil, dkk. 2010. "Efek Temperatur Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin". Jurnal Mekanikal, Vol. 1 No. 1 Januari 2010: 30 – 39
- [10] Bylund, Gösta. 1995. "Tetra Pak Processing Systems AB S-221 86 Lund, Sweden". Dairy Processing Handbook.