



## Aplikasi Kontroler PI Modifikasi pada Prototype Alat Pasteurisasi Menggunakan *Simple Water Heater*

Churnia Sari<sup>1</sup>, Irna Tri<sup>2</sup> dan Asdi Putra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas PGRI Madiun, Teknik Elektro, email: [s.churnia@unipma.ac.id](mailto:s.churnia@unipma.ac.id)

<sup>2</sup>Universitas PGRI Madiun, Teknik Elektro, email: [irnatri@unipma.ac.id](mailto:irnatri@unipma.ac.id)

<sup>3</sup>Asdi Putra, Teknik Elektro, email: [1.15.asdiputra@gmail.com](mailto:1.15.asdiputra@gmail.com)

### Abstrak

Kontroler PI adalah suatu algoritma kontroler yang banyak digunakan di industri karena kemudahannya untuk diaplikasikan dan disimulasikan. Dalam penelitian ini, kontroler PI digunakan untuk mengatur suhu pada Prototype Alat Pasteurisasi yang dirancang menggunakan Simple Water Heater. Pasteurisasi adalah sebuah proses pemanasan makanan dengan tujuan membunuh organisme yang merugikan. Keberhasilan Pasteurisasi sangat dipengaruhi oleh suhu pemanasan. Namun pada sistem ini, terdapat sebuah komponen yang mempunyai keterbatasan kinerja output. Komponen tersebut adalah Converter AC to AC. Converter AC to AC digunakan untuk mengatur tegangan AC yang dibutuhkan untuk mengontrol suhu pada plan pasteurisasi. Karena keterbatasan itu, sebuah modifikasi diperlukan. Modifikasi tersebut adalah Anti WindUp. Sehingga Kontroler PI mampu bekerja dengan baik dalam mencapai set poin dengan error steady state sekitar 1%, lebih tahan terhadap gangguan dari luar dan mampu menghasilkan susu yang aman untuk dikonsumsi.

**Kata kunci:** Pasteurisasi, Kontroler PI, Anti WindUp

### Abstract

PI controller is a controller algorithm that was commonly used in industry because of its simplicity to be applied or simulated. In this case, the PI controller is used to regulate the temperature of the prototype of cow's milk pasteurization, which is designed using Simple Water Heater. Pasteurization is a process of heating food with the aim of killing harmful organisms. Pasteurization is so influenced by the heating temperature. In this case, there is a component that has limited output performance. This component is commonly called the AC to AC Converter. It is used to control the temperature in the pasteurization plan or the others. To overcome this problem, a modification was needed, it is called Anti WindUp. So PI Controller was able to reach set point well, and has very small steady state error about 1%, more resistant to external disturbance and able to produce safe milk to consume.

**Keywords:** Pasteurization, PI Controller, Anti WindUp, AC to AC Converter

## 1. Pendahuluan

Susu segar merupakan bahan makanan yang bergizi tinggi karena mengandung zat-zat yang lengkap dan seimbang yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Nilai gizi yang tinggi juga menyebabkan air susu mudah rusak karena merupakan media yang disukai oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan dan perkembangannya, sehingga dalam waktu yang sangat singkat air susu bisa menjadi sangat tidak layak untuk dikonsumsi apabila tidak ditangani secara benar [1]. Untuk meminimalkan kontaminasi oleh mikroorganisme dan menghambat pertumbuhan bakteri pada air susu agar dapat disimpan lebih lama, maka penanganan sesudah pemerahan hendaknya menjadi perhatian serius [2].

Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mencegah kerusakan pada air susu adalah dengan cara pasteurisasi. Dalam proses pasteurisasi susu sapi, terjadi pemanasan susu sapi pada suhu dan waktu tertentu. Sehingga susu bisa dikonsumsi, namun harus dinilai dari beberapa aspek yang telah ditetapkan, salah satunya adalah kandungan bakterinya (Wulandari) [3]. Ketidakberhasilan proses pasteurisasi pada umumnya diakibatkan karena ketidakstabilan sistem dalam mencapai metode tertentu dalam pasteurisasi. Dimana metode-metode dalam pasteurisasi ini sangat bergantung pada proses pengaturan suhu yang harus dicapai dan proses pengaturan kestabilan suhu dalam waktu tertentu [4].

Selama ini beberapa penelitian sudah dikembangkan oleh [5] dan [6], diterapkan pada *prototype* alat pasteurisasi susu sapi serta metode kontrol yang diterapkan di dalamnya untuk mengatur suhu proses pasteurisasi agar kualitas susu sapi tetap terjaga. Dalam penelitian tersebut [5] menggunakan metode *fuzzy* untuk mendapatkan suhu pasteurisasi yang sesuai. Metode *fuzzy* memiliki kelemahan pada cara penentuan parameter kontroler *fuzzy*-nya. Dalam menentukan parameternya harus menggunakan metode *trial and error*, sehingga dibutuhkan waktu yang lama untuk bisa diimplementasikan. Selain itu kontroler *fuzzy* yang diterapkan tidak mampu mengatasi gangguan yang mungkin bisa terjadi ketika proses pasteurisasi berlangsung yaitu suhu lingkungan yang tidak menentu atau adanya *human error* selama melakukan proses pasteurisasi. Dari [6] dapat diketahui bahwa kontroler PI efektif untuk diterapkan dalam mengontrol suhu pasteurisasi. Namun dari hasil yang didapatkan masih terdapat kekurangan berupa *error steady state*. Dari hasil percobaan terlihat, ketika set point  $60^{\circ}\text{C}$  maka sistem akan mengeluarkan suhu  $69^{\circ}\text{C}$  dalam posisi *steady state*. Ketika set point dirubah, *error steady state* akan tetap ada dengan nilai minimal sebesar  $3^{\circ}\text{C}$  dan maksimal sebesar  $9^{\circ}\text{C}$ . Suhu yang mencapai  $69^{\circ}\text{C}$  akan berpengaruh pada kualitas susu, karena metode LTST yang digunakan pada proses Pasteurisasi adalah antara  $63\text{-}65^{\circ}\text{C}$  [7].

Metode PI yang diterapkan pada *prototype* alat yang sebenarnya, ternyata belum mampu membuat *real* sistem bekerja dengan tepat, hal ini disebabkan oleh cara kerja kontroler I yang secara simultan menjumlahkan *error* sistem. Sementara komponen-komponen elektronik penyusun *Prototype* sistem Pasteurisasi Susu Sapi mempunyai batas kinerja maksimal dan minimal. Jika *error* terus menerus dijumlahkan oleh kontroler I maka suatu saat sistem akan menghasilkan *output* melebihi batas kerja maksimal komponen elektroniknya [8].

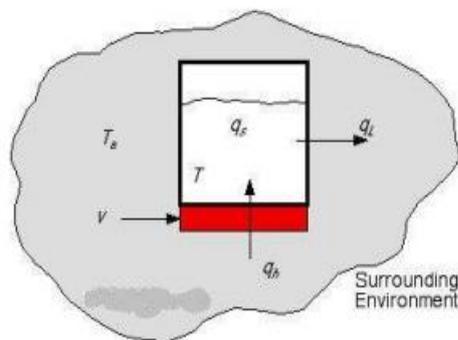
Oleh karena itu, butuh sebuah algoritma pembatas yang sudah disesuaikan dengan karakteristik komponen elektronika yang ada pada alat, metode tersebut dinamakan *Anti Windup* [9,10]. Dengan diterapkannya metode kontrol tersebut pada penelitian ini, diharapkan sistem akan bekerja lebih maksimal serta tidak membutuhkan waktu yang lama dalam pencapaian nilai set point atau suhu yang diinginkan.

## 2. Related Works

### 2.1 Pasteurisasi

Metode pasteurisasi yang umum dilakukan pada susu ada dua cara, yaitu: *low temperature long time* (LTLT) yakni pasteurisasi pada temperatur rendah 65°C selama 30 menit, sedangkan metode lain ialah *high temperature short time* (HTST), yakni pemanasan pada temperatur tinggi 71°C selama 15 detik (Singgih H.) [7]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nurus S. [1], salah satu kandungan yang terdapat di dalam susu hasil pasteurisasi yang nantinya akan dijadikan sebagai parameter keberhasilan adalah Jumlah Total Bakteri. Rata-rata jumlah total mikroorganisme pasteurisasi dengan metode LTLT berkisar antara 35,00 kol/ml sampai 300,00 kol/ml dan dengan metode HTST berkisar antara 37,67 kol/ml sampai 299,00 kol/ml.

### 2.2 Prototype Alat Pasteurisasi



Gambar 1. Model Simple Water Heater[11]

V: Tegangan Masukan (*input*), T: Temperatur Air (*output*),  $T_a$ : Ambient Temperature (temperatur Lingkungan),  $Q_s$ : Energi yang disimpan oleh air,  $Q_L$ : Energi adalah energi yang dibuang ke lingkungan,  $Q_h$ : Jumlah seluruh energi yang dikeluarkan oleh *heater* ( $Q_h=Q_s+Q_L$ ).

Model Matematika untuk sistem *Prototype* Alat Pasteurisasi ini diturunkan berdasarkan dari sistem termal yang bersifat dinamis. Dimana komponen-komponennya adalah seperti pada Gambar 1 [11]. Berikut adalah fungsi persamaan dinamis pada sistem termal:

$$k * V = C * \left( \frac{dT}{dt} \right) + \frac{T - T_a}{R} \quad (1)$$

Keterangan: K= konstanta dari pabrik pembuat *heater* (*Ampere*), C = kapasitas termal cairan (*Joule/K*), R = Resistansi termal dari logam bahan panci ( $\Omega$ ), V = Tegangan Jala-Jala dari PLN (*Volt AC*).

Transformasi *Laplace* dari Persamaan [1] adalah sebagai berikut:

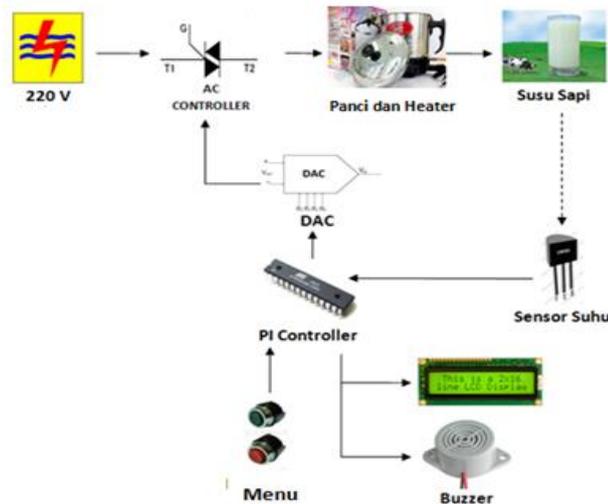
$$kV(s) = CsT(s) + \frac{1}{R}T(s) \quad (2)$$

Sehingga diperoleh sistem persamaan orde pertama sebagai berikut:

$\frac{T(s)}{V(s)} = \frac{k}{Cs + \frac{1}{R}}$  Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa "*Prototype*" yang digunakan sebagai *plant* dalam penelitian ini memiliki respon sistem orde pertama. Pada penelitian ini Simple Water Heater digunakan sebagai bejana susu yang akan digunakan dalam pasteurisasi. Komponen *heater* air pada sistem ini terdiri dari elemen pemanas yang dapat bekerja dengan tegangan arus AC dan bejana yang berbentuk tabung berbahan *stainlesssteel*, dengan diameter 11 cm dan tinggi bejana (tabung) adalah 9,5 cm, dengan volume

zat cair maksimum adalah sekitar 900 cm<sup>3</sup> atau setara dengan 0,9 liter air, sedangkan volume susu yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sekitar 700 ml(cm<sup>3</sup>) susu, serta dilengkapi dengan sirkulasi udara yang cukup sederhana pada bagian tutupnya. Spesifikasi elektrik dari *heater* ini adalah *input* maksimum 220 VAC, dengan daya yang dikonsumsi adalah 200 Watt, dan bekerja pada frekuensi listrik 50 V. *Water Heater* jenis ini mempunyai respon sistem orde pertama dengan penurunan formulasi matematika seperti dijelaskan di bawah ini (Suthar A.) [11].

### 2.3 Hardware



Gambar 2. Skema Keseluruhan Sistem

*Hardware* dari pemodelan sistem pasteurisasi ini, terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: Arduino DueMilanove, *Converter AC to AC* dan Sensor Suhu. Secara ringkas cara kerja sistem ini adalah mikrokontroler akan mengatur sudut penyulutan dari *AC to AC voltage Controller* melalui tegangan *analog* yang dihasilkan lewat DAC, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Rangkaian *converter AC to AC* terdiri dari tiga bagian penting yaitu Triac, DAC dan IC TCA 785. Triac disini berfungsi sebagai saklar elektronik. ON atau OFF dari Triac dikontrol oleh IC TCA785 sebagai *phase control*. Pada penelitian ini sensor temperatur yang digunakan adalah Sensor LM 35 *Waterproof* seperti pada Gambar 3. Perbedaan sensor jenis ini dengan sensor LM 35 pada umumnya, terletak pada *range* kerja suhunya serta bentuk fisiknya. LM 35 *Waterproof* adalah LM 35 yang didesain secara khusus agar mampu beroperasi didalam zat cair, baik rangkaian maupun akurasi kerjanya sama dengan sensor LM 35.



Gambar 3. Sensor LM 35 Water Proof

### 2.4 Kontroler PI

Salah satu jenis kontroler berdasarkan aksi kontrolnya adalah kontroler proporsional ditambah integral. Kontroler proporsional ditambah integral merupakan kontroler yang aksi kontrolnya mempunyai sifat proporsional dan integral terhadap sinyal kesalahan. Aksi integral akan menyebabkan keluaran terus berubah sampai tidak ada error dalam proses sistem. Nilai  $K_i$  yang besar akan mempercepat hilangnya kontroler jenis ini tidak dapat bekerja dengan baik karena

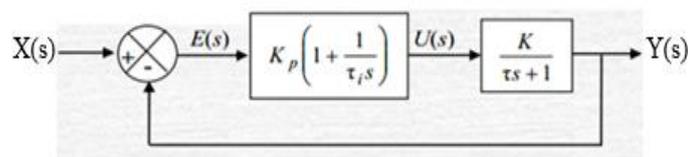
sifatnya yang terus menerus menjumlahkan sinyal kesalahan sehingga menyebabkan fenomena *Windup* pada sebuah alat elektronika atau akan memperburuk kinerja sistem dalam menghasilkan output sesuai dengan yang diinginkan [8].

Hubungan antara masukan kontroler  $e(t)$  dan keluaran kontroler  $u(t)$  adalah:

$$u(t) = Kp \left( e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt \right)$$

atau dalam transformasi *Laplace* :

$$u(s) = Kp \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) E(s)$$



Gambar 4. Diagram Blok Sistem *Close Loop* Kontroler PI

## 2.5 Algoritma Anti *WindUp*

*Windup* adalah sebuah fenomena yang diakibatkan oleh terjadinya saturasi pada penggerak. Pada umumnya berbagai aktuator seperti *valve*, motor, dan sumber daya listrik, selalu mempunyai nilai *limit* atas dan *limit* bawah tergantung dari spesifikasi dari aktuator itu sendiri. Apabila beban telah mencapai nilai *limit* maka *output* proses akan menjadi lebih lamban untuk setiap perubahan *set* poin dan menyebabkan adanya gangguan yang besar, apabila hal ini terus terjadi maka integrator akan semakin membesar secara terus menerus (sehingga mengakibatkan terjadinya *WindUp*). Salah satu metode paling sederhana untuk menghindari integral *WindUp* adalah dengan membuat kondisi baru untuk aksi kontroler integral dalam mengolah sinyal kontrolnya, ketika aktuator berada pada batas *limit* [9]. Formulasi metode ini adalah seperti berikut:

$If u(k) > u_{max}$  maka nilai  $u(k)$  tidak *update*,

danset nilai  $u(k) = u_{max}$

$If u(k) < u_{min}$  maka nilai  $u(k)$  tidak *update*,

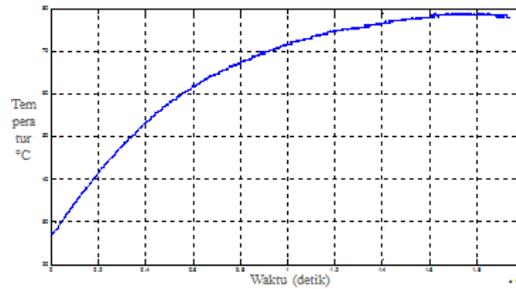
danset nilai  $u(k) = u_{min}$

Keterangan:  $u(k)$  = sinyal kontrol ke-k,  $u_{max}$  = sinyal kontrol maksimum,  $u_{min}$  = sinyal kontrol minimum.

## 3. Perancangan Algoritma Sistem

### 3.1 Proses Identifikasi Model Matematis

Grafik Respon Hasil Pengukuran atau perilaku *Simple Water Heater* pada Prototype Alat Pasteurisasi dengan tegangan *input* 30 VAC, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Respon Plant

Dari grafik tersebut dapat dilakukan pendekatan sistem orde pertama sesuai dengan Persamaan [3] sebagai berikut:

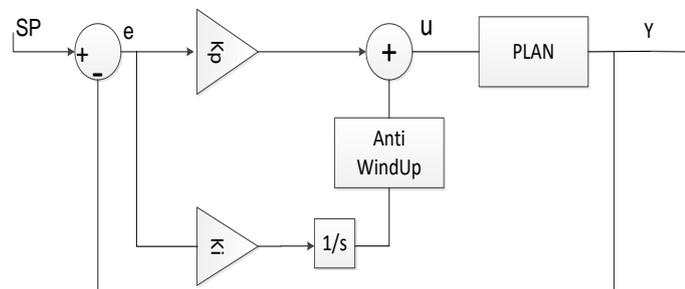
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{Ks}{\tau_s s + 1}$$

sehingga diperoleh fungsi alih plant pasteurisasi adalah:

$$\frac{T(s)}{V(s)} = \frac{1.773}{5512s + 1} \quad (6)$$

Dengan *input* berupa tegangan dan *output* berupa suhu menggunakan metode indentifikasi yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Fungsi alih hasil indentifikasi tersebut memiliki nilai *error* 0.916% berdasarkan perhitungan *error* model menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*).

### 3.2 Perancangan Algoritma Kontroler



Gambar 6. Diagram Kontroler *Closeloop* PI Modifikasi

Algoritma kontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah *Closeloop system* dengan aplikasi Kontroler Proporsional Integral Modifikasi didalamnya. Gambar 6 merupakan keseluruhan algoritma kontroler PI Modifikasi yang akan diterapkan pada sistem pengaturan suhu Pasteurisasi.

$K_p = \frac{\tau_i}{\tau^* K}$  Dalam penelitian ini respon waktu yang cepat dan kestabilan sistem pada saat *steady state* menjadi tujuan utama yang harus dicapai oleh fungsi alih yang dibentuk. Dari kedua hal tersebut, maka ditentukan nilai  $t_s (\pm 0.5\%)$  sekitar 336 detik. Pemilihan nilai  $\tau_s$  tergantung pada seberapa cepat, respon yang diharapkan, semakin cepat respon, nilai  $\tau_s$  semakin besar. Jika diasumsikan  $\tau = \tau_i$ , maka Nilai *Gain*  $K_p$  dapat diperoleh berdasarkan fungsi alih Kontroler PI dengan Persamaan [6]:

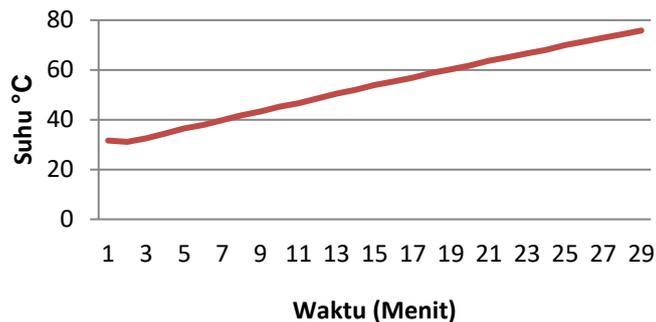
dengan nilai  $\tau^*$  dapat diperoleh dari  $t_s (\pm 0.5\%)$ :

$$t_s (\pm 0.5\%) = 5\tau^* = 336 \quad (7)$$

Sehingga nilai  $\tau^*=67$  dan nilai  $K_p=70$  dapat diperoleh dari Persamaan [6] dan [7]. Metode anti *WindUp*. Pada penelitian ini bekerja dengan cara membuat kondisi baru untuk aksi kontroler integralnya. ketika aktuator telah berada pada batas *limit*. Nilai  $u_{max}$  dan  $u_{min}$ , dalam penelitian ini, diperoleh dari batasan spesifikasi kinerja Komponen *Converter AC to AC*. Sehingga, nilai  $u_{max}$  dan  $u_{min}$  adalah berupa tegangan jala-jala (sumber daya listrik) dari PLN dengan batas maksimum adalah 220 VAC dan minimum adalah 0 VAC.

#### 4. Hasil dan Analisa

##### 4.1 Implementasi Kontroler PI Anti WindUp



Gambar 7. *Output* Sistem Tanpa Kontroler.

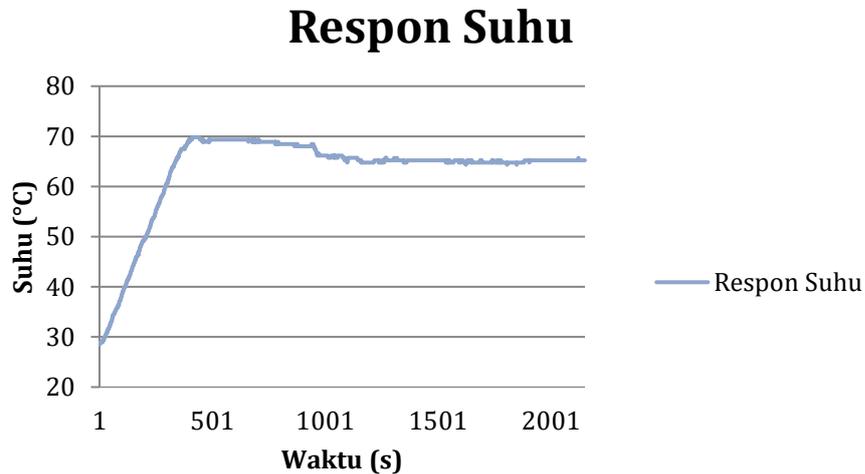
Gambar 7 adalah *Output* sistem berupa respon suhu dari prototype Pasteurisasi tanpa diberikan algoritma PI anti *WindUp* didalamnya. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa tanpa modifikasi pada dasarnya, sistem bekerja sangat lambat. Sistem membutuhkan waktu hampir 25 menit untuk mencapai suhu 60°C. Pada umumnya semua aktuator mempunyai nilai ambang batas komponen tersebut bisa bekerja (saturasi). Hal ini berlawanan dengan sifat dasar dari komponen integral yang terus menerus menjumlahkan kesalahan dan mengubahnya menjadi sinyal kontrol yang cukup besar. Oleh karena itu, pada penelitian ini modifikasi yang sesuai untuk plan yang digunakan adalah Anti *WindUp*, dimana pada kontroler PI ditambahkan sebuah logika baru yang akan membatasi kinerja kontroler integral. Berikut adalah program Kontroler PI dengan modifikasi anti *WindUp* pada arduino:

```

void PID()
  baca_temperatur();
  error = (set_temperatur - temperatur);
  if(int(error)!=0){
    p = KP * error;
    i_err += error * DT;
    i = KI * i_err;
  float rate = (error - last_error) /DT;
  float d = KD * rate;
  last_error = error;
  dac = int(p + i + d);
  if(dac > MAX_PWM){
    dac = MAX_PWM;
  }else if(dac < 5){
    dac =5;
    last_error = 0;
    i_err = 0;}
  else {
    if(!iset){
      i_err = 500;
      iset=true; } }

```

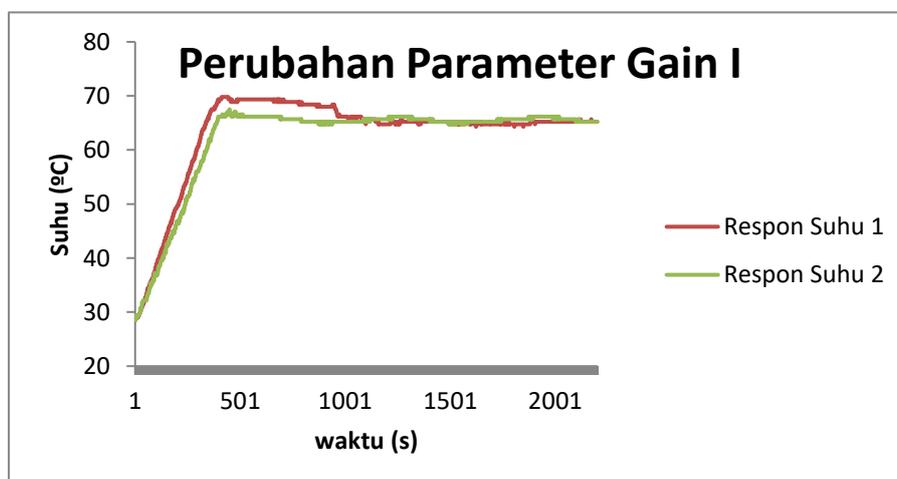
Ketika algoritma PI Modifikasi diterapkan maka respon sistem akan menjadi seperti pada Gambar 8. Dari Gambar tersebut, dapat diperoleh informasi bahwa penerapan kontroler PI modifikasi mampu mempercepat proses pemanasan. Dalam waktu  $\pm 8$  menit sistem telah mencapai suhu pasteurisasi yang diinginkan yaitu  $65^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 8. Output Sistem dengan Metode PI Modifikasi

Namun hasil dari penerapan kontroler ini masih memberikan nilai *error steady state* akibat dari terjadinya *overshoot* ketika sistem akan mencapai kondisi *steady state*. Hal seperti ini biasa terjadi dalam penerapan kontroler Integral, jika *Gain Integral* yang diaplikasikan tidak sesuai atau pada umumnya terlalu besar. Oleh karena itu nilai *Gain Integral* yang semula  $1.2 \times 10^{-2}$  diperkecil menjadi  $9.1 \times 10^{-3}$ . Pengurangan ini dimaksudkan untuk meminimalisir nilai *overshoot* yang dihasilkan oleh komponen integral. Hasil dari penerapan perubahan *Gain Integral* dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari hasil ini, dapat diketahui pula bahwa untuk nilai *error* yang kecil dari komponen Integral memberikan aksi kontroler yang cukup besar. Sehingga jika *Gain integral* terlalu besar, ada kemungkinan *error steady state* juga bertambah akibat adanya sinyal *overshoot*.



Gambar 9. Output Sistem dengan Koreksi Nilai Gain Integral

## 4.2 Jumlah Mikroorganisme Pada Susu Hasil Pasteurisasi

Dari hasil Uji Laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Kesehatan Surabaya didapati bahwa jumlah mikroorganisme berkurang cukup signifikan. Jumlah mikroorganisme susu sapi sebelum dipasteurisasi adalah 43000 kol/ml setelah dilakukan Pasteurisasi dengan alat ini jumlah mikroorganismenya menjadi 70 kol/ml. Menurut pemerintah melalui SK Dirjen Peternakan RI No. 17/Kpts/Djp/Deptan/83 menetapkan standar susu pasteurisasi yang masih layak dikonsumsi ditinjau dari kandungan bakteri adalah apabila memiliki jumlah bakteri masih dibawah 25.000 koloni/ml, atau pada umumnya berkisar antara 35,00 kol/ml sampai 300,00 kol/ml.

Tabel 1. Hasil Uji Coba Mikroorganisme

No	Jenis Contoh	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pemeriksaan	Metode
1	Susu Sapi PID	Angka Lempeng Total	Juml. kol/ml	70	Agar Tuang
2	Susu Sapi Fuzzy	Angka Lempeng Total	Jum. Kol/ml	30	Agar Tuang
3	Susu Sapi Asli	Angka Lempeng Total	Jum. Kol/ml	43000	Agar Tuang

## 5. Kesimpulan

Dari hasil pembuatan serta implementasi kontroler PI Modifikasi pada Prototype Alat Pasteurisasi Susu Sapi, maka dihasilkan:

1. Alat dapat bekerja dengan baik, karena mampu menurunkan jumlah bakteri yang semula  $4,3 \times 10^4$  mol/ml menjadi 70 mol/ml dengan metode pasteurisasi LTST.
2. Modifikasi Anti *WindUp* bekerja dengan baik untuk mengatasi terjadinya saturasi pada sebuah komponen elektronika atau dalam penelitian ini adalah Converter AC to AC. Dengan adanya modifikasi ini, tidak perlu lagi ada tambahan hardware untuk menaikkan performa sebuah sistem elektronik.
3. Kontroler PI dengan modifikasi Anti *Windup* mampu bekerja secara efektif dalam menjaga kestabilan suhu sesuai *setpoint*  $65^\circ \text{C}$  selama 30 menit, dengan persen *error* kurang dari 1,3%, serta mampu mempercepat *rise time* sampai  $\pm 7$  menit.

**Daftar Pustaka**

- [1] Nurus S. Afduha, Triana Yuni A., Hermawan S. Widodo, "Kajian Keamanan Pangan dan Tingkat Prevalensi Cemar Bakteri Susu di Sentra Pengembangan Sapi Perah Cilongok", *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, 28(3), 224-232, 2018.
- [2] Abubakar, Triyantini, dkk, "Pengaruh Suhu dan Waktu Pasteurisasi Terhadap Mutu Susu Selama Penyimpanan", *Jurnal Balai Penelitian Ternak*, 6(1), 45-50, 2001
- [3] Wulandari, Dewi dan Nurdiana, "Identifikasi Kesempurnaan Proses Pasteurisasi Ditinjau dari Total Bakteri serta Kandungan Protein dan Laktosa Pada Susu Pasteurisasi Kemasan Produksi Pabrik dan Rumah Tangga di Kota Batu", *Majalah Kesehatan*, 3(1), 144-151, 2016.
- [4] Kristanti, N. Dewi, "Daya Simpan Susu Pasteurisasi Ditinjau Dari Kualitas Mikroba Termoturik dan Kualitas Kimia", *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, 12(1), 1-7, 2017.
- [5] Putra, Farid S, Implementasi Kontrol Logika Fuzzy pada Alat Pengaturan Temperatur Pasteurisasi Susu Sapi, Tugas Akhir, Teknik Elektro, 2014.
- [6] Dharmawan A., Billy Marthen, dkk, "Sistem Kontrol PI pada Proses Pasteurisasi Susu Sapi", *E-Journal UNDP: TRANSMISI*, 21(1), 15-18, 2019.
- [7] Singgih H, "Optimasi Kendali PID pada Sistem Pengaturan Temperatur Proses Pasteurisasi Susu". *Jurnal ELTEK*, 14(2), 1-15, 2016.
- [8] Haryanto, Proses Pasteurisasi Susu Murni Menggunakan Metode AC to AC dengan Kontroler PI untuk Meningkatkan Kualitas Susu, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS, 2014.
- [9] John, Greeshma S., Abhilash T. V, Anti-Windup PI Controller for Speed Control of Brushless DC Motor, IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI), pp. 1068-1073, 2017.
- [10] Sung, Su Whan and friends, "Process Identification and PID Control", New Jersey: Wiley - IEEE Press, 2009.
- [11] Suthar, A. Haresh, Gadit J. Jagrut, "Modelling and Analysis of the Simple Water Heater System", *IJECE (Journal of Electrical and Computer Engineering)*, 1(1), 49-52, 2011.