

Kontrol Suhu Menggunakan Metode PID untuk Proses Pemasakan Nira Pada Alat Pembuat Gula Merah Tebu

Brahma Ratih Rahayu Fakhrunnia¹, Mila Fauziyah², Denda Dewatama^{2*}

Abstrak – Pemasakan nira merupakan salah satu proses yang dilakukan pada pembuatan gula merah. Proses pemasakan nira merupakan salah satu proses penting dalam pembuatan gula merah yang mengakibatkan terjadinya karamelisasi pada gula yang membuat warna gula menjadi coklat. Proses pemasakan nira pada pembuatan gula merah saat ini masih menggunakan pengontrolan secara manual yang akan menyebabkan suhu pemasakan yang tidak stabil. Suhu pemasakan yang tidak stabil akan mengakibatkan gula merah yang dihasilkan menjadi berwarna terlalu pekat dan memiliki rasa manis yang cenderung pahit. Sehingga dalam proses pemasakan nira diperlukan pengontrolan suhu dengan harapan dapat menghasilkan gula merah dengan kualitas warna dan rasa yang semakin baik. Dalam menjaga kestabilan suhu pada proses pemasakan nira, maka dalam penelitian ini digunakan sebuah metode kontrol. Metode kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kontrol PID yang ditanamkan pada arduino untuk mengontrol aktuator berupa motor servo yang mendapatkan *input* dari sensor suhu PT100.

Dengan menggunakan metode kontrol PID diperoleh parameter kontrol dengan metode Ziegler Nichols dengan nilai $K_p = 5$, $K_i = 0.1$ dan $K_d = 538$. Dari hasil pengujian sistem terhadap aplikasi kontroler PID dengan metode Ziegler Nicholse ini didapatkan nilai (T_r) = 592 s, waktu tunda (T_d) = 334 s, waktu turun (T_s) = 957 s, maksimal overshoot (%Mp) = 0% dan error *steady state* 1.03%. Berdasarkan data respon PID yang dihasilkan menunjukkan bahwa sistem untuk pengukuran suhu sesuai dengan nilai *setpoint* yang diberikan.

Kata Kunci - Pemasakan Nira, PID, Arduino, PT100

I. PENDAHULUAN

Pemasakan nira merupakan salah satu proses penting yang dilakukan pada pembuatan gula merah yang akan menentukan kualitas dari gula merah yang dihasilkan.

Brahma Ratih Rahayu Fakhrunnia adalah Mahasiswa D4 Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, email: brahmaratih.fakhrunnia@yahoo.co.id.

Mila Fauziyah adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang

Denda Dewatama adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang

Dalam proses pemasakan nira diperlukan pengontrolan suhu yang tepat. Pengontrolan suhu pemasakan akan mempengaruhi hasil dari gula merah.

Suhu pemasakan yang tidak terkontrol akan mengakibatkan rusaknya salah satu faktor penentu standar kualitas gula merah tebu yaitu sukrosa. Sehingga sukrosa dalam nira harus dijaga supaya tidak mengalami inversi. Inversi pada sukrosa ini diakibatkan karena suhu pemasakan yang terlalu tinggi. Selain itu suhu yang tidak dikontrol juga dapat menyebabkan gula yang dihasilkan dapat menjadi gosong. Apabila waktu pemanasan terlalu cepat maka gula merah yang dihasilkan akan mudah meleleh dan memiliki tekstur yang lembek [1].

Pemasakan gula merah diatur dengan mendidihkan nira pada suhu $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$. Kecukupan suhu selama pemasakan ini nantinya akan mempengaruhi mutu gula merah yang dihasilkan [2].

Dalam menghasilkan gula merah dengan kualitas yang baik dibutuhkan metode kontrol suhu yang tepat, yaitu dengan menggunakan metode kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*). Hal ini dilatarbelakangi karena struktur yang sederhana, serta kemudahan dalam tuning parameter kontrol. Kontrol PID memiliki beberapa pengaruh terhadap sistem, antara lain memberikan efek redaman, menghilangkan *error steady state* dan memperbaiki respon transien. Sehingga dengan digunakannya metode kontrol PID dapat mengatur kontrol suhu serta dapat menjaga kestabilan temperatur dari proses pemasakan nira.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sensor Suhu Resistive Temperature Detector (RTD) PT 100

Resistance Thermal Detector (RTD) atau yang biasa dikenal dengan detektor temperatur tahanan merupakan jenis dari sensor suhu yang memiliki prinsip kerja yaitu perubahan resistansi logam akan meningkat dengan naiknya perubahan suhu [3]. RTD tipe PT100 merupakan jenis RTD yang paling populer digunakan di industri. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0° pada nilai resistansi 100 ohm. [4].



Gambar 1. Sensor PT 100

2.2 Kontroler PID

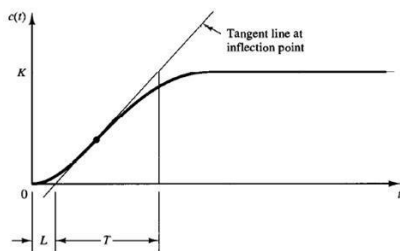
Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah kontroler, yaitu kontrol P (Proportional), I (Integral) dan D (Derivative). Dalam membuat rancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah dengan mengatur parameter P,I,D agar tanggapan sinyal luaran sistem sesuai dengan masukan yang diinginkan pengguna [5].

Kontroler PID merupakan kontroler yang paling sering dipakai diantaranya untuk mengontrol suhu. Persamaan kontroler PID dimodelkan,

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

Dimana u(t) adalah nilai yang dihitung oleh kontroler PID. Kp merupakan koefisien proporsional, Ti merupakan *integral time*, dan Td merupakan *differential time constant*.

Salah satu metode *tuning* yang dapat digunakan adalah metode Ziegler-Nicholse yang menawarkan metode kurva reaksi. Karakteristik dari kurva reaksi dapat diberikan oleh dua konstanta, yakni waktu tunda L dan konstanta waktu T.



Gambar 2. Kurva Respon Berbetuk S [5]

Nilai L dan T ini didapatkan dari menggambar garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk S dan menentukan perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu t dan sumbu c(t)=K.

Tabel 1. Aturan Penyepadanan Metode Ziegler Nicholse berdasarkan Sistem Respon Tangga [5]

Tipe Kontroler	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0

PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5 L
-----	-------------------	----	-------

2.3 Arduino

Arduino UNO merupakan salah satu produk dari Arduino yang merupakan mikrokontroler berbasis Atmega328P. Arduino UNO terdiri dari 14 pin input dan output digital, dimana 6 pin tersebut digunakan sebagai pin input analog dan 6 diantara pin tersebut digunakan sebagai output PWM, koneksi USB, 16 MHz osilator cristal, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Sebuah pin yang tersedia pin 0 hingga 13 digunakan isyarat *digital*, yang hanya bernilai 0 dan 1. Pin A0 – A5 digunakan untuk isyarat *analog*. Pin-pin yang tersedia ini berisi semua yang dibutuhkan untuk mendukung *mikrokontroler*.



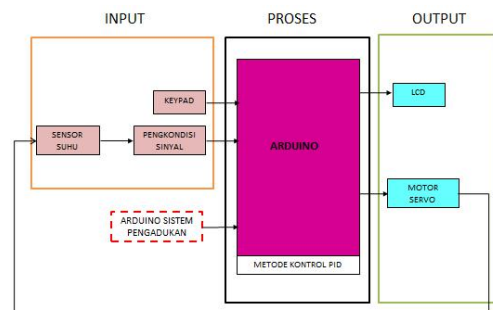
Gambar 3. Arduino Uno [6]

III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan dan pembuatan sistem alat pemasak nira tebu dengan menggunakan metode PID. Dalam perancangan dan pembuatan sistem ini meliputi diagram blok sistem, perancangan mekanik, perancangan *elektrik* dan perancangan PID. Perancangan sistem pada alat ini dirancang sebagai berikut:

3.1 Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem pemasakan nira dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Keterangan dari blok diagram sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

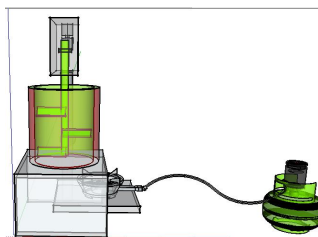
- 1) *Keypad* digunakan sebagai perangkat interaksi antara pengguna untuk melakukan pengaturan *set point* suhu.

- 2) Sensor Suhu merupakan sensor RTD yang digunakan untuk mengetahui suhu di dalam alat pembuat gula merah.
- 3) Pengkondisi Sinyal yang terdiri dari rangkaian elektronik untuk mengubah keluaran dari sensor suhu berupa resistansi menjadi tegangan tertentu agar perubahan suhu yang dideteksi oleh sensor suhu dapat terdeteksi pada perubahan level tegangan di input Arduino.
- 4) Arduino berfungsi sebagai pengontrol sistem kerja rangkaian melalui *software* yang telah terprogram. Sistem yang digunakan adalah Arduino. Metode yang digunakan adalah PID.
- 5) LCD digunakan sebagai *display* yang akan menampilkan suhu pada saat proses pembuatan gula merah berlangsung.
- 6) Motor Servo digunakan membuka dan menutup *valve* pada tabung gas. Sehingga ketika panas berkurang *valve* dibuka lebih besar, dan ketika panas berlebih *valve* dibuka lebih kecil.
- 7) Arduino sistem pengadukan digunakan untuk memberikan informasi kepada sistem pemasakan nira untuk berhenti bekerja sesuai dengan kekentalan gula merah.

3.2 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik pada sistem ini meliputi desain tabung pemasakan nira, pengapian, dll. Perancangan gambar mekanik ini dibuat dengan menggunakan *software Google SketchUp*. Berikut adalah spesifikasi alat yang dirancang sebagai berikut:

1. Mekanik yang dirancang dengan ukuran sebagai berikut:
 - 1) Dimensi Mekanik
 - Panjang : 50 cm
 - Lebar : 70 cm
 - Tinggi : 106 cm
 - 2) Dimensi Tangki
 - Diameter atas : 31,5 cm
 - Diameter dalam : 24 cm
 - Tinggi : 30 cm
 - 3) Dimensi Penyangga Kompor
 - Bahan Penyangga : besi
 - Panjang : 50 cm
 - Tinggi : 38 cm
 - 4) Kapasitas : 5 liter



Gambar 5. Desain Mekanik

2. Proses pemasakan menggunakan kompor dengan bahan bakar gas elpiji yang dilengkapi dengan motor servo pada *valve* kompor.

3. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu di dalam tabung pemasakan adalah sensor suhu PT100.
4. Kontroller yang digunakan adalah metode kontrol PID.
5. Menggunakan Arduino Uno.
6. Software yang digunakan sebagai pemrograman yaitu Arduino

3.3 Perancangan Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu PT 100

Sensor suhu yang digunakan adalah sensor suhu PT100, sensor ini memiliki *output* berupa resistansi. Sesuai dengan datasheet sensor suhu PT100 maka diketahui dua karakteristik yaitu persamaan perubahan dari resistansi PT100 terhadap perubahan suhu sesuai dengan Persamaan (2)

$$R_{pt} = 100 + (0.385 \times suhu)$$

Pada sistem ini digunakan suhu antara 0°C dengan resistansi 100 ohm sampai dengan suhu 150°C dengan resistansi 157.75 ohm.

Output dari sensor PT100 yang berupa resistansi perlu dikuatkan untuk mendapatkan keluaran dalam satuan volt. Sehingga perlu diintegrasikan dengan rangkaian jembatan *wheatstone*. Sensor suhu PT100 dihubungkan dengan resistor R2, R4 dan R6 dengan nilai 100 ohm sehingga membentuk rangkaian jembatan *wheatstone* yang dibuat setimbang pada suhu 0°C.

Berdasarkan perhitungan pada jembatan *wheatstone* digunakan Persamaan (3)

$$\Delta V = (V_a) - (V_b) \dots\dots\dots (3)$$

Dengan menggunakan nilai Vs yaitu 1.4 V, maka didapatkan nilai Vb selalu 0.7 V dan nilai maksimal dari Va untuk suhu 150°C adalah 0.856 V. Maka ΔV adalah $V_a - V_b = 0.856 - 0.7 = 0.156 V$

Sehingga sensitifitas sensor RTD PT100 dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (4)

$$Sensitifitas\ sensor = \frac{156\ mV}{150} = 1.04\ mV/^\circ C \dots (4)$$

Keluaran dari sensor RTD PT100 agar dapat diolah dengan sistem mikroontroler, maka dihubungkan dengan ADC. ADC pada arduino yang digunakan adalah 10 bit dengan Vref adalah 5V. Sehingga didapatkan sensitifitas ADC dengan menggunakan Persamaan (5)

$$Sensitifitas\ ADC = \frac{5}{1023} = 4.887\ mV \dots\dots (5)$$

Dalam perancangan ini diinginkan sensitifitas pengukuran, yaitu 0.2°C maka dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (6)

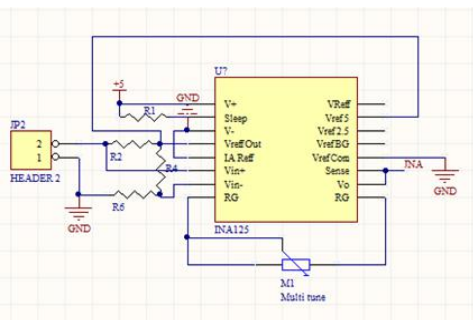
$$Sensitifitas\ pengukuran = sensitifitas\ sensor \times 0.2^\circ C \dots(6)$$

$$= 1.04\ mV/^\circ C \times 0.2^\circ C = 0.208\ mV$$

Dari hasil perhitungan sensitifitas pengukuran, maka dapat dihitung penguatan yang dibutuhkan dengan menggunakan Persamaan (7)

$$Gain = \frac{\text{sensitifitas pengukuran}}{\text{sensitifitas ADC}} \dots\dots\dots(7)$$

Sehingga dibutuhkan penguatan sebesar 23 kali. Dalam memenuhi kebutuhan penguatan tersebut maka digunakan IC INA 125. Gambar 6 adalah skematik Rangkaian Pengkondisi sinyal dengan menggunakan IC INA125



Gambar 6. Skematik Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu PT100

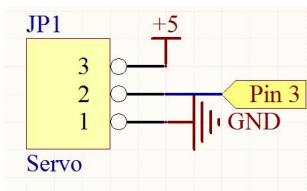
Berdasarkan datasheet IC INA125 nilai penguatan yang digunakan pada perancangan ini dapat dihitung menggunakan Persamaan (8)

$$G = \frac{60k}{R_G} + 4 \dots\dots\dots (8)$$

Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan penguat instrumentasi INA125, dengan menggunakan penguatan 23 kali maka didapatkan nilai R_G yaitu $R_G = 3157 \Omega$.

3.4 Perancangan Motor Servo

Motor servo yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan motor servo dengan tipe MG 996R. Motor servo disini berfungsi untuk memutar valve kompor. Cara kerja dari motor servo ini adalah dengan memutar sudut dari valve kompor agar sesuai dengan perintah dari kontroller. Berikut adalah perancangan dari sistem dalam konfigurasi yang digunakan untuk menggerakkan motor servo pada Gambar 7

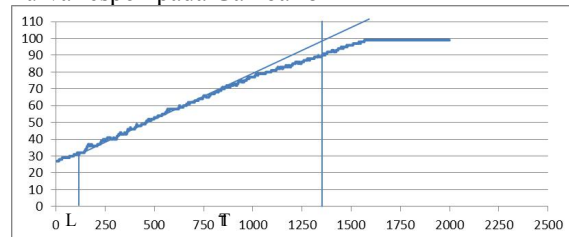


Gambar 7. Skema Rangkaian Motor Servo

3.5 Perancangan PID

Dalam perancangan kontrol PID dengan menggunakan kurva reaksi, terdiri dari beberapa tahapan, sebagai berikut:

Pertama yaitu dengan mencari respon awal dari plant tanpa menggunakan kontroller. Didapatkan kurva respon pada Gambar 8



Gambar 8. Grafik Respon Tanpa Kontroler

Kedua yaitu menarik garis singgung terhadap respon awal dari plant untuk mendapatkan nilai L dan T. Dimana nilai L dan T didapatkan dengan menarik garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk S dan menentukan perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t)=K$. Berdasarkan respon kurva reaksi pada Gambar 8, maka didapatkan:

$$L = 80$$

$$T = 1380 - 80$$

$$= 1300$$

Langkah ketiga yaitu menghitung nilai K_p , T_i dan T_d yang digunakan sebagai perhitungan sesuai dengan aturan metode Ziegler-Nicholse pada Tabel 1, maka didapatkan

$$L = 80$$

$$T = 1300$$

$$K_p = 1300/8 \times 1.2$$

$$= 19.5$$

$$T_i = 2 \times 80$$

$$= 160$$

$$T_d = 0.5 \times 80$$

$$= 40$$

Sehingga nilai K_i dan K_d dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$K_p = 19.25$$

$$K_i = K_p/T_i$$

$$= 0.12$$

$$K_d = K_p \times T_d$$

$$= 780$$

Dengan menggunakan metode kurva reaksi Ziegler-Nicholse, maka didapatkan hasil tuning parameter PID yaitu $K_p = 19.25$, $K_i = 0.12$ dan $K_d = 780$.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian masing-masing blok, antara lain pengujian rangkaian sensor suhu PT100, pengujian motor servo, dan pengujian LCD. Dari hasil pengujian yang telah didapatkan akan dilakukan analisa dan pembahasan untuk mengetahui apakah sistem yang telah dirancang sesuai dengan yang direncanakan.

4.1 Pengujian Sensor Suhu PT100

Pengujian PT 100 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PT 100 menggunakan termometer dengan pembacaan suhu

pada LCD. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari PT 100 dalam mendeteksi suhu dan untuk mengetahui apakah LCD dapat menampilkan perubahan suhu dari sensor PT 100. Data hasil pengujian ini dilakukan dengan mengambil data berdasarkan perubahan kenaikan suhu setiap 5°C.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu PT 100

No	Termometer (°C)	LCD	Error (%)
1	30	30	0
2	35	35	0
3	40	41	2.5
4	45	45	0
5	50	49	2.04
6	55	55	0
7	60	60	0
8	65	66	1.51
9	70	72	2.77
10	75	75	0
11	80	80	0
12	85	85	0
13	90	91	1.09
14	95	96	1.04
15	100	100	0
16	105	105	0
17	110	112	1.78
18	115	116	0.86
19	120	121	0.82
20	125	126	0.79
21	130	131	0.76
22	135	135	0
23	140	142	1.40
24	145	146	0.68
25	150	150	0
Rata-rata Error			0.721

Hasil Pengujian sensor suhu PT 100 dengan pembacaan menggunakan termometer dan menggunakan program untuk menampilkan pada LCD suhu yang terbaca oleh sistem menunjukkan bahwa pembacaan sensor PT 100 dapat dikatakan baik karena masih memiliki rata – rata error 0.721%. Selain itu juga dapat diketahui bahwa LCD sudah mampu menampilkan perubahan suhu sesuai dengan perubahan suhu pada sensor PT 100 dengan menggunakan termometer.

4.2 Pengujian Motor Servo

Pengujian motor servo ini dilakukan dengan membandingkan nilai derajatnya pada busur derajat. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah motor servo bekerja dengan baik atau tidak. Dalam pengujian ini nilai yang diukur maksimum yaitu 180°.

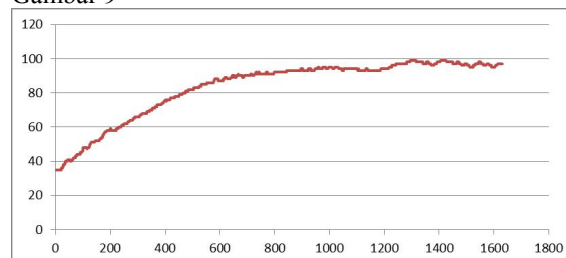
Tabel 3. Hasil Pengujian Motor Servo

Nilai Derajat Servo	Nilai Derajat Busur	Error (%)
10	10	0
30	30.5	1.66
45	45.5	1.11
60	60	0
90	91	1.11
120	120.5	0.41
150	150	0
180	180	0
Rata – rata Error		0.53%

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan motor servo memiliki error rata-rata 0.53%, error ini sangat kecil sehingga motor servo masih bisa digunakan sebagai pengatur valve gas. Perubahan sudut putaran motor servo yang dibandingkan dengan menggunakan busur derajat sudah sesuai. Sehingga nantinya akan memudahkan proses pengontrolan pada motor servo karena sudut putaran yang dihasilkan sudah sesuai.

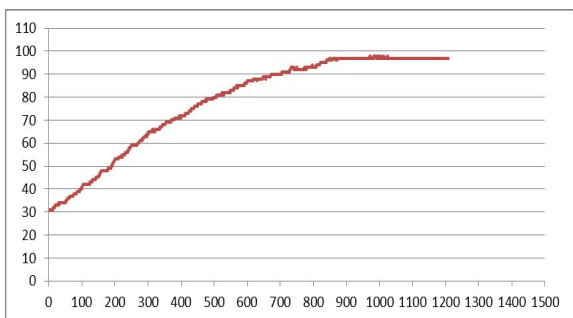
4.3 Pengujian Kontrol PID

Pengujian dengan menggunakan kontrol PID dengan menggunakan nilai Kp = 19.25, Ki = 0.12 dan Kd = 780. Hasil dari respon pengujian menggunakan kontroler PID dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 9. Grafik Respon Menggunakan Kontroler PID Kp = 19.25, Ki = 0.12 dan Kd = 780

Dari Gambar 9 maka dihasilkan grafik dengan performa waktu naik (Tr) = 602 s, waktu tunda (Td) = 289 s, waktu turun (Ts) = 1317 s, maksimal overshoot (%Mp) = 2.06% dan error steady state = 2.06%. Sistem dengan pemasakan nira ini untuk mencapai nilai setpoint suhu masih cukup lama, sehingga pada sistem ini diperlukan parameter PID yang tepat. Sehingga diperlukan tuning untuk memperoleh parameter PID yang tepat. Hasil tuning yaitu dengan menggunakan nilai Kp = 5, Ki = 0.1 dan Kd = 538 didapatkan respon kurva yang dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 10. Grafik Respon Menggunakan Parameter Kontrol $K_p = 5$, $K_i = 0.1$ dan $K_d = 538$

Dari Gambar 10 maka dihasilkan grafik dengan performa waktu naik (T_r) = 592 s, waktu tunda (T_d) = 334 s, waktu turun (T_s) = 957 s, maksimal overshoot ($\%M_p$) = 0% dan error *steady state* = 1.03%.

4.4 Pengujian Sistem

Kontrol PID yang digunakan pada proses pemasakan nira ini menggunakan *setpoint* 110°C menggunakan kapasitas nira 10 liter, *setpoint* 100°C menggunakan kapasitas nira 10 liter dan menggunakan *setpoint* 97°C dengan kapasitas nira 10 liter. Tabel 4 adalah hasil pengujian sistem sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Pemasakan Nira

Setpoint	Warna	Tekstur	Rasa
97°C	Kuning kecoklatan	Keras	Manis
100°C	Coklat	Agak Keras	Manis
110°C	Coklat pekat	Sangat Keras	Manis dan Pahit

Berdasarkan Tabel 4 pemasakan nira menggunakan kapasitas nira 10 liter dan dilakukan pengujian sebanyak tiga kali dengan tiga nilai *setpoint* berbeda, yaitu 97°C, 100°C, 110°C. Didapatkan hasil pemasakan nira terbaik dalam proses pembuatan gula merah dengan menggunakan suhu 97°C. Dengan menggunakan suhu pemasakan nira 97°C gula merah yang dihasilkan memiliki warna kuning kecoklatan, keras dan memiliki rasa yang manis bila dibandingkan dengan suhu pemasakan 100°C dan 110°C. Sehingga semakin tinggi suhu pemasakan nira yang digunakan, maka gula merah yang dihasilkan akan berwarna terlalu pekat, tekstur yang terlalu keras dan memiliki rasa manis yang cenderung pahit.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisa pada pengontrolan suhu pemasakan nira menggunakan metode kontrol PID, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan antara lain:

1. Sensor suhu PT 100 dengan pembacaan menggunakan termometer dan menggunakan program untuk menampilkan pada LCD memiliki rata – rata *error* 0.721%. *Error* yang dihasilkan menunjukkan bahwa sensor suhu yang digunakan cukup akurat dan presisi sehingga akan mampu menampilkan kinerja yang baik pada sistem.
2. Pada proses pemasakan nira dengan menggunakan kontrol PID dengan menggunakan nilai $K_p = 5$, $K_i = 0.1$ dan $K_d = 538$ dengan hasil grafik menunjukkan waktu naik (T_r) = 592s, waktu tunda (T_d) = 334 s, waktu turun (T_s) = 957 s, maksimal overshoot ($\%M_p$) = 0% dan error *steady state* 1.03%.
3. Semakin tinggi suhu pemasakan nira, maka gula merah yang dihasilkan akan berwarna semakin pekat, tekstur yang terlalu keras dan memiliki rasa manis yang cenderung pahit.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil perancangan alat dan analisa yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini antara lain:

1. Untuk melakukan pengembangan alat sebaiknya menggunakan kontrol yang berbeda, yaitu menggunakan kontrol *fuzzy logic*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan respon yang dihasilkan dengan menggunakan kontrol lain.
2. Mekanik sebaiknya diperbaiki pada tempat pembakaran sebaiknya ditutup supaya api saat kecil tidak mati akibat terkena gangguan dari luar.
3. Peletakan sensor lebih mendekati bagian terbawah dari wadah, supaya pembacaan sensor tetap akurat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Dewi, Shinta Rosalia. 2014. *Pengaruh Suhu Pemasakan Nira dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Kualitas Gula Merah Tebu*. Jurnal Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.

[2] Soetedjo. dkk. 2009. *Perancangan dan Uji Coba Alat Evaporator Nira Aren*. Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Kimia FTI, Universitas Katolik Parahyang, Jakarta.

[3] Johnson, Curtis. 1997. *Process Control Instrumentation Technology*. Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi.

[4] Dio, Betari Kristian. 2015. *Implementasi Algoritma Fuzzy Logic untuk Pengendali Suhu Pada Mesin Mixer Menggunakan SCADA*. Politeknik Negeri Malang.

[5] Ogata, Katsuhiko. 1996. *Teknik Kontrol Automatik*. Erlangga, Jakarta.

[6] Online <http://arduino.cc>