

# PERANCANGAN PLANT ALAT PEMBUAT SIRUP BUAH OTOMATIS DENGAN KONTROL PI SEBAGAI PENGENDALI SUHU CAIRAN BERBASIS ATMEGA16

Muhammad Abbie Hamzah<sup>\*)</sup>, Budi Setiyono, and Sumardi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail : muhammad.abbie@gmail.com

## Abstrak

Sejak dahulu, sirup buah merupakan salah satu minuman yang paling digemari masyarakat dikarenakan kadar vitamin C yang tinggi, rasanya yang enak serta terdiri dari bermacam-macam varian. Sebagian besar proses pembuatan sirup buah pada skala industri rumah tangga saat ini masih menggunakan cara manual dan konvensional. Pada tugas akhir ini, dirancang plant alat pembuat sirup buah otomatis untuk skala industri rumah tangga. Otomatisasi sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan, pengadukan bahan, pengaturan suhu dan lama pemanasan sirup buah. Metode kontrol yang digunakan pada sistem pengendalian suhu cairan ketika proses heating adalah kontrol PI. Kontrol PI akan mengendalikan suhu cairan sesuai set point yang diberikan operator. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa kontrol PI hasil penalaan dengan metode penalaan Ziegler-Nichols dapat diaplikasikan dengan baik untuk mengendalikan suhu cairan. Dengan metode penalaan tersebut didapatkan parameter kontrol PI yaitu  $K_p = 98$  dan  $T_i = 132$ . Pada pengujian, dengan diaplikasikannya kontrol PI pada pengendalian suhu cairan, sistem mampu menghasilkan tanggapan keluaran dengan waktu naik (rise time) dan waktu penetapan (settling time) yang kecil serta nilai maksimum overshoot yang masih dalam batas toleransi, yaitu 3%. Sistem juga dapat kembali stabil, walaupun diberi gangguan secara tiba-tiba, dengan settling time sebesar 209 detik.

*Kata kunci : sirup buah, heating, kontrol PI*

## Abstract

Since long time ago, fruit syrup has become people's most favorite beverages, due to its high amount of vitamin C, the good taste, and is made up of assortment of variants. Nowadays, most of the fruit syrup production processes for the household industrial scale is mostly dominated by the conventional way. In this final project, a prototype of automatic fruit syrup maker machine was made for household industrial scale. The automation system included : the main ingredients dosing, the ingredients mixing, the materials stirring, the temperature controlling, and the duration time of the heating process. The PI control was used for controlling the fluid temperature depend on the set point. The test results showed that the PI control which determined by Ziegler-Nichols method can be well-applied for fluid temperature controlling. The PI control parameters,  $K_p = 98$  and  $T_i = 132$  were obtained by the Ziegler-Nichols method. It was showed that with the application of the PI control, the system can produced a good output response, due to its low level of rise time and settling time, with less than 3% overshoot value. The system was also reliable in terms of stability, which showed by its quickness to be stable, even when the sudden disturbance occurred, with settling time = 209 s.

*Keywords : fruit syrup, heating, PI control*

## 1. Pendahuluan

Buah-buahan merupakan bahan pangan sumber vitamin. Selain mempunyai citarasa yang segar dan menarik, buah-buahan juga mengandung protein, karbohidrat dan vitamin dalam jumlah yang cukup tinggi. Sayangnya, buah-buahan yang kaya akan gizi memiliki daya simpan

yang sangat singkat, dalam 2-3 hari setelah buah matang penuh, tekstur buah melunak dan mulai terjadi kerusakan. Agar hasil panen terselamatkan, mengolahnya menjadi berbagai macam olahan adalah solusi yang tepat<sup>[1]</sup>.

Di Indonesia, sistem otomatisasi dalam pengolahan sirup buah skala rumah tangga masih sangat sedikit. Sistem

otomatisasi dalam pengolahan produk minuman sirup buah memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah dapat mempersingkat waktu produksi, mengurangi *human error*, serta meningkatkan ketahanan proses dan konsistensi *output*.

Tak dapat dipungkiri, sampai saat ini kontrol PID (*Proporsional-Integral-Derivative*) merupakan satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan variabel proses di industri. Berdasarkan survey, dijumpai kenyataan bahwa 97% industri yang bergerak dalam bidang proses (seperti industri kimia, pulp, makanan, minyak dan gas) menggunakan PID sebagai komponen utama dalam pengontrolannya. Kepopuleran PID sebagai komponen kontrol proses dilatarbelakangi terutama oleh kesederhanaan struktur, serta kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya<sup>[2]</sup>.

Pada penelitian sebelumnya telah diaplikasikan kendali PI (*Proporsional-Integral*) pada sistem pengontrolan suhu studi kasus pengencer susu bayi otomatis. Otomatisasi mencakup proses pemanasan, pendinginan, serta pencampuran fluida. Parameter kendali PI, yaitu  $K_p$  dan  $T_i$  didapatkan dengan menggunakan metode penalaan *Ziegler-Nichols*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan respon keluaran dengan nilai *rise time* dan *settling time* yang kecil dan ketika sistem diberi gangguan, respon keluaran akan tetap terjaga dalam kestabilan<sup>[3]</sup>.

Pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan perancangan alat pembuat sirup buah otomatis untuk skala *home industry*. Otomatisasi mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan, pengadukan bahan, sistem pewaktu (*timer*) pada masing-masing tahapan proses, pengaturan suhu serta lama pemanasan sirup buah. Pengendalian sistem dilakukan dengan mengontrol tiga parameter terkontrol, yakni bukaan *valve*, suhu cairan, dan motor pengaduk. Diharapkan, dengan diterapkannya sistem otomatisasi ini, maka dapat meningkatkan produktivitas kerja pada proses pembuatan sirup buah. Selanjutnya, dengan diaplikasikannya metode kontrol yang tepat saat proses pemanasan, yang merupakan proses terpenting dalam pembuatan sirup buah, maka kestabilan suhu dapat tercapai dengan baik sesuai dengan *set point* yang diinginkan.

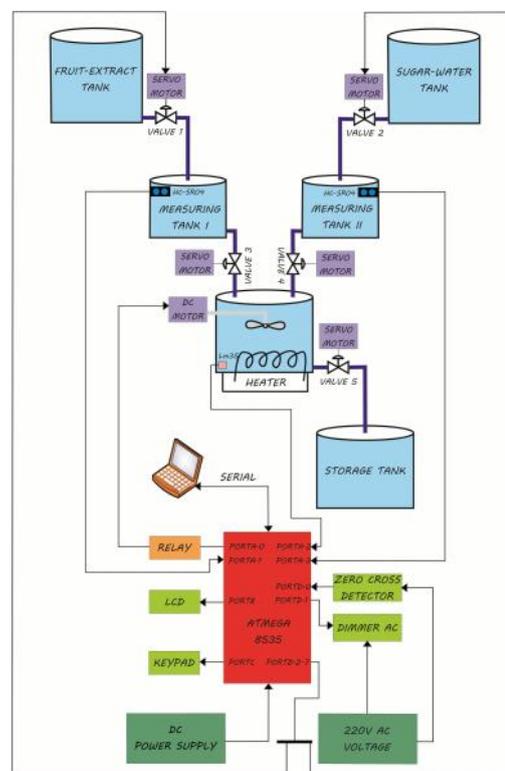
## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Hardware

Penjelasan dari masing-masing blok alat pembuat sirup otomatis pada Gambar 3.1 adalah sebagai berikut :

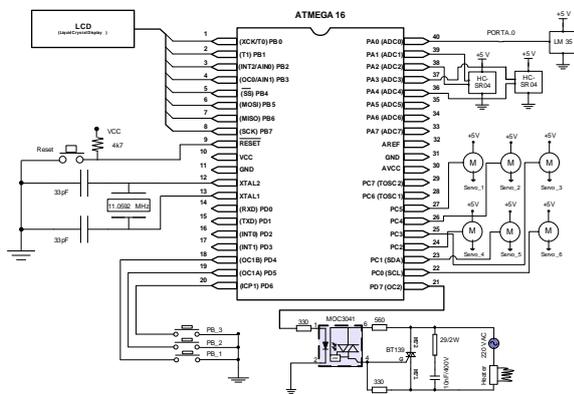
1. Mikrokontroler ATmega16 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengaturan suhu cairan ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa *C embedded*.

2. *Push Button* berfungsi sebagai masukan untuk mengatur *set point* suhu cairan dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
3. LCD (*Lyquid Crystal Display*) digunakan sebagai media tampilan (*display*).
4. Sensor suhu LM35 sebagai sensor yang akan mendeteksi perubahan suhu pada *heater*.
5. Sensor jarak HC-SR04 difungsikan sebagai sensor *level* yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian cairan pada tangki takaran.
6. Motor servo sebagai aktuator penggerak *valve*.
7. *Heater* (Pemanas cairan) dengan daya 600 watt dengan sumber tegangan ac (bolak-balik) yang berfungsi sebagai *aktuator*.
8. Rangkaian *driver heater* merupakan rangkaian yang berfungsi mengendalikan tegangan AC dengan memberikan waktu tunda pemucuan *triac*. Komponen utama *driver heater* berupa *triac* dan *optoisolators* tipe MOC3041. *TRIAC optoisolators* yang digunakan telah memiliki rangkaian *zero crossing* di dalamnya (*on-package*) sebagai pendeteksi gelombang sinus AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol.
9. *Relay* berguna sebagai kendali *on-off* pada motor listrik yang difungsikan sebagai pengaduk cairan pada saat pemanasan.
10. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem secara keseluruhan.
11. PC (*Personal Computer*) PC digunakan untuk komunikasi serial dengan mikrokontroler.



Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Hardware

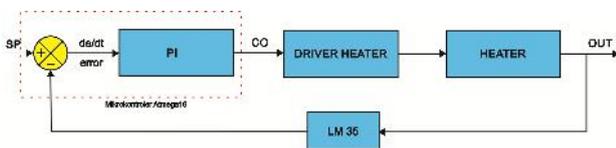
Adapun alokasi penggunaan *port* pada rangkaian ATmega16 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik Perancangan Hardware

2.2. Metode Kontrol PI (Proporsional-Integral)

Kendali PI diaplikasikan untuk mengendalikan suhu *heater* pada *plant*. Sinyal kontrol akan mengatur level nilai tegangan yang masuk ke *heater* berdasarkan nilai besaran suhu yang masuk sebagai input mikrokontroler. Sebagai masukan dari mikrokontroler adalah *error*, yang merupakan selisih antara *setpoint* suhu yang diinginkan dengan suhu sebenarnya. Kontroler PI akan menghasilkan sinyal kontrol berupa variasi nilai tegangan elemen pemanas (*heater*).



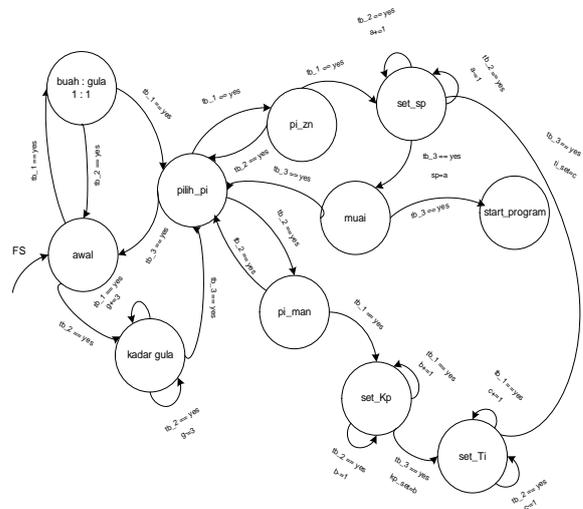
Gambar 3. Diagram Blok Sistem Pengendalian Suhu pada Plant Alat Pembuat Sirup Buah Otomatis

2.3. Perancangan Software

Pemrograman mikrokontroler Atmega16 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan *software* pada tugas akhir ini menggunakan bahasa C dengan kompilator Code Vision AVR versi 2.04.4a. *Statechart* sistem dapat dilihat pada Gambar 4.

Secara umum perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler ATmega16 ini terdiri atas :

- Perancangan Program Utama
- Program Inisialisasi I/O dan Variabel
- Program *Push Button* dan Pindah *State*
- Program Pengambilan Data ADC (sensor suhu LM35 dan sensor jarak HC-SR04)
- Program Tampilan LCD 16x2
- Program *fast PWM* untuk Pemicuan Triac
- Program Pengendali *PI*
- Program Data Serial



Gambar 4. Statechart Program Utama

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Sensor LM35

Pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor suhu LM35 dengan thermometer analog.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Suhu Sensor LM35 dan Thermometer Analog

No.	Suhu Thermometer (°C)	Sensor LM35 (°C)	Error (°C)
1.	30	30,2	0,2
2.	32	31,6	0,4
3.	35	35,3	0,3
4.	38	38,2	0,2
5.	40	39,7	0,3
6.	43	43,3	0,3
7.	45	45,1	0,1
8.	47	46,8	0,2
9.	50	50,5	0,5
10.	53	53,3	0,3
Error			2,9
Error rata-rata			0,29

Tabel 1. menunjukkan bahwa pembacaan sensor suhu LM35 memiliki rata-rata *error* total sebesar 0,29 °C.

3.2. Pengujian Rangkaian Pengendali Tegangan AC

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai PWM dari mikrokontroler *portD.7* (*OCR2*) dan tegangan keluaran dari rangkaian pengendali tegangan AC dengan variasi nilai *duty cycle* yang diberikan ke pemicu. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 3.

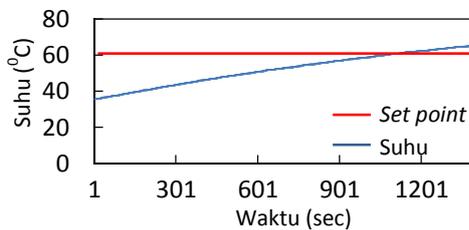
Tabel 2. Data Pengujian Tegangan Sinyal Picu dan Kendali Tegangan AC

No.	Duty Cycle (%)	Nilai PWM (OCR2)	Tegangan Pada Beban (Volt)
1.	0	147 (93)	0
2.	10	158 (9D)	3
3.	20	167 (A8)	15
4.	30	179 (B3)	42
5.	40	190 (BE)	72
6.	50	201 (C9)	104
7.	60	212 (D3)	136
8.	70	223 (DE)	163
9.	80	233 (E9)	186
10.	90	244 (F4)	201
11.	100	255 (FF)	209

Tabel 2. menunjukkan bahwa tegangan keluaran pada beban akan naik seiring dengan kenaikan nilai PWM pada register OCR2 dengan nilai maksimum 255 (FF).

### 3.3. Pengujian Kalang Terbuka

Karakteristik *plant* dapat diketahui dengan melakukan pengujian kalang terbuka. Pengujian kalang terbuka dilakukan dengan memberikan tegangan maksimal 220 V atau saat CO sebesar 100 % pada heater selama 23 menit. Hubungan antara CO (sinyal kontrol) dan PV (deviasi output proses), dalam hal ini suhu sebenarnya, pada hasil pengujian kalang terbuka ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian Kalang Terbuka

Gambar 5. menunjukkan bahwa *plant* memiliki output proses (PV) berupa suhu yang terus-menerus membesar untuk perubahan tangga sinyal kontrol (CO) maksimal. Respon sistem tersebut memperlihatkan output model IPDT (*Integrating Plus Dead Time*). Hasil analisa dari pengujian kalang terbuka adalah sebagai berikut :

- Nilai keterlambatan transportasi (*L*) respon sistem tersebut adalah 40 detik.
- *Gain* integratif proses (*K\**) yang dimiliki model IPDT didapatkan dari perhitungan berikut :

$$K^* = \frac{(\Delta PV) / \Delta t}{\Delta CO} = \frac{(60-35,6) / 1061}{100} = 0,00023 \text{ (}^\circ\text{C/\%)}$$

### 3.4. Penentuan Parameter PI dengan Metode Penalaan Ziegler-Nichols

Dari parameter-parameter proses di atas maka dapat dihitung parameter *Proporsional-Integral* ( $K_p$ ,  $T_i$ ) dari

*plant* sistem pengendalian suhu cairan dengan menggunakan metode penalaan *Ziegler-Nichols* pertama. Berikut adalah perhitungannya :

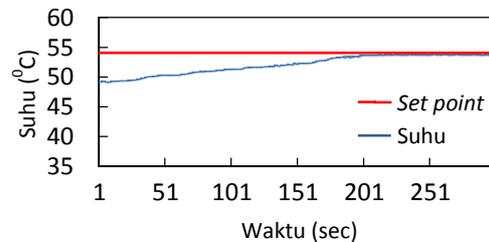
$$K_p = \frac{0,9}{K^*L} = \frac{0,9}{(0,00023)(40)} = 98$$

$$T_i = 3,3L = 3,3 \times 40 = 132$$

Jadi, parameter PI untuk pengendali suhu pada *plant* alat pembuat sirup buah otomatis dengan metode penalaan *Ziegler-Nichols* adalah  $K_p=98$  dan  $T_i=132$ .

### 3.5. Pengujian Sistem dengan Referensi Tetap

Pada pengujian ini digunakan nilai parameter PI hasil penalaan dengan metode *Ziegler-Nichols*, yaitu  $K_p=98$  dan  $T_i=132$  dengan *set point* tetap sebesar  $54^\circ\text{C}$ . Respon sistem ditunjukkan pada Gambar 6.

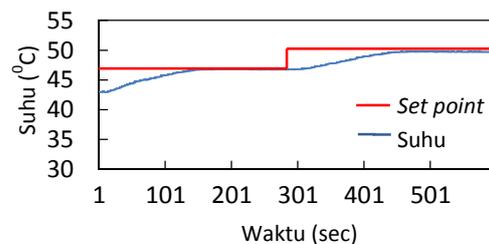


Gambar 6. Respon Sistem dengan Referensi Tetap ( $54^\circ\text{C}$ )

Pada pengujian dengan referensi tetap didapatkan waktu mati (*dead time*) sebesar 10 detik,  $T_r$  (*rise time*) sebesar 212 detik dan  $T_s$  (*settling time*) sebesar 216 detik, tanpa adanya *overshoot*.

### 3.6. Pengujian Sistem dengan Referensi Naik

Pengujian dengan kenaikan nilai referensi dilakukan dengan memberikan nilai referensi dari  $47^\circ\text{C}$  naik menjadi  $50^\circ\text{C}$ . Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan atau kinerja kendali PI terhadap perubahan kenaikan nilai referensi. Respon sistem ditunjukkan pada Gambar 7.

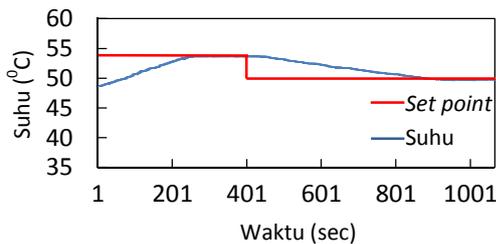


Gambar 7. Respon Sistem dengan Referensi Naik ( $47^\circ\text{C}$ - $50^\circ\text{C}$ )

Pada pengujian dengan referensi naik didapatkan waktu mati (*dead time*) sebesar 12 detik,  $T_r$  (*rise time*) sebesar 150 detik,  $T_s$  (*settling time*) sebesar 169 detik, tanpa adanya *overshoot*.

### 3.7. Pengujian Sistem dengan Referensi Turun

Pengujian dengan penurunan nilai referensi dilakukan dengan memberikan referensi menurun yaitu dari 54°C turun menjadi 50°C. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan atau kinerja kendali PI terhadap perubahan penurunan nilai referensi. Respon sistem ditunjukkan pada Gambar 8.

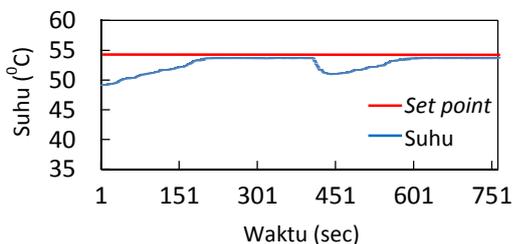


Gambar 8. Respon Sistem pada Referensi Turun (54°C-50°C)

Pada pengujian dengan referensi turun didapatkan waktu mati (*dead time*) sebesar 18 detik,  $T_r$  (*rise time*) sebesar 479 detik,  $T_s$  (*settling time*) sebesar 580 detik, dengan *maximum overshoot* adalah 49,6°C (-0,4°C).

### 3.8. Pengujian Kontrol PI terhadap Gangguan

Pengujian kontrol PI terhadap gangguan pada dilakukan dengan menambah volume air sebanyak 500 mililiter saat sistem telah mencapai keadaan stabil pada *set point* 54°C. Pada pengujian ini didapatkan  $T_s$  (*settling time*) sebesar 613 detik, dengan *maximum overshoot* adalah 50,9°C (-3,1°C).



Gambar 9. Respon Sistem dengan Gangguan

### 3.9. Pengujian Aplikasi Alat Pembuat Sirup Buah Otomatis

Langkah-langkah pembuatan sirup buah (menggunakan sampel buah sirsak) dengan alat pembuat sirup buah otomatis dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Proses pemilihan buah sirsak

2. Proses pengambilan sari buah murni

3. Proses otomatisasi pembuatan sirup buah sirsak

Otomatisasi sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan (*mixing*), pengadukan bahan, serta pengaturan suhu dan lama pemanasan sirup buah.

Setelah pemanasan selesai berdasarkan *setting* mode seperti yang telah dilakukan, kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil pemanasan sirup buah tanpa menggunakan pengendali (*open loop*) yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Suhu Heater dengan dan Tanpa Kontroler

No.	Waktu Pemanasan (menit)	Set Point (°C)	Suhu Heater (°C)	
			Tanpa Kontrol	Kontrol PI
1.	0	80	35.6	35.6
2.	10	80	50.7	50.7
3.	20	80	62.3	62.2
4.	30	80	74.6	74.8
5.	35	80	80.4	79.7
6.	40	70	93.5	79.8

Tabel 3. menunjukkan bahwa pemanasan menggunakan *heater* tanpa pengendali tidak dapat memberikan konsistensi suhu yang baik serta tidak memenuhi syarat pasteurisasi. Kenaikan suhu heater tanpa kontroler hingga hampir mencapai 100°C memang dapat membunuh bakteri patogen dalam olahan sirup buah. Akan tetapi, pemanasan yang terlalu tinggi (diatas 80°C) menyebabkan hilangnya nutrisi yang ada pada olahan sirup buah dan menyebabkan penurunan kadar vitamin C hingga lebih dari 90% [4]. Oleh karena itu, pengontrolan suhu dan sistem pewaktuan dalam proses pasteurisasi menjadi hal yang sangat penting. Dengan demikian, keakuratan suhu maupun waktu pengolahan dapat tercapai sesuai standar.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, Pembacaan sensor suhu dan sensor jarak pada sistem pengendalian suhu pada *plant* alat pembuat sirup buah otomatis menghasilkan rata-rata *error* masing-masing sebesar 0,29°C dan 0,75 cm. Nilai *maximum overshoot* yang didapatkan hanya terdapat pada pengujian dengan referensi turun dan pengujian kontrol PI dengan gangguan, yaitu masing-masing sebesar 49,6°C (-0,4°C) dan 50,9°C (-3,1°C). Pada pengujian aplikasi alat, saat suhu naik menuju *set point* (0-35 menit), suhu *heater* tanpa kontroler dan suhu *heater* dengan kontroler PI sama-sama naik menuju ke *set point* suhu 80°C. Setelah mencapai *set point*, *heater* dengan kontrol PI akan mempertahankan suhu pemanasan sesuai *setpoint* yang diinginkan yaitu 79,8°C (-0,2°C). Sebaliknya suhu *heater* tanpa kontroler (*open loop*) terus mengalami kenaikan melewati *set point* hingga mendekati suhu 100°C. Saran

untuk pengembangan sistem lebih lanjut, sebaiknya menggunakan metode kontrol *on-off* dalam sistem pengendalian suhu, karena lebih ekonomis dan memakan memori yang lebih sedikit dibanding dengan metode kontrol PI dalam pengaplikasiannya pada sistem *embedded* mikrokontroler.

## **Referensi**

- [1]. Suyanti, *Panduan Mengolah 20 Jenis Buah*, Penebar Swadaya, Jakarta, 2010.
- [2]. Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [3]. Karimah, Ika Dzikrul, *Aplikasi Kendali Proporsional Integral Pada Sistem Pengontrolan Suhu Studi Kasus Pengencer Susu Bayi Otomatis*, Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- [4]. Moe Sandar, Tun, *Stability of vitamin C content in guava juices during pasteurization and storage at different condition*, Mahidol University, Bangkok, 2007.
- [5]. Ogata, Katsuhiko, 1984, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Edi Leksono, Jakarta: Erlangga, 1994.
- [6]. Sumardi, *Belajar AVR Mulai Dari Nol*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2013.
- [7]. -----, ATmega16 Datasheet, <http://www.atmel.com>, diakses Maret 2014.
- [8]. -----, LM35 Datasheet, <http://www.national.com>, diakses April 2014.