

# APLIKASI SISTEM KENDALI PID PADA TANGKI PEMANAS AIR SEBAGAI TEKNOLOGI PEMANAS BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA32

Ery Hernawan Wintresnanto<sup>1</sup>, Ir. Muhammad Suyanto, M.T<sup>2</sup>, Samuel Kristiyana S.T, M.T<sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND  
Jln. Kalisahak No. 28, Yogyakarta  
Telp: 0274 – 563029, Fax: 0274 – 563847

Nama : Ery Hernawan Wintresnanto  
NIM : 121.04.2035  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri

## ABSTRACT

*The tank water heater is a equipment used to heat water that is currently widely used to provide hot water in residential facilities, such as the need for a warm water bath with the water temperature around 30 ° C - 70 ° C. The technique is generally used to heat water by using an electric water heater is installed on the water heater tank. Element water heater in addition to easy installation also safe and environmentally friendly.*

*In this design of plant, will simulate the temperature-controlled device on tank water heater using PID control system (PID temperature controller) which is a commonly used method of operation in the industry nowadays, especially as temperature controller. The sensor used is LM35 temperature sensor that has a high level of measurement accuracy and good linearity. The output of the LM35 temperature sensor will then be read by a microcontroller which is used microcontroller ATmega32.*

*Application of PID control system gives ease to use as a temperature controller with a small error rate and high stability. Parameters obtained from the analysis of PID control system is applied to the design of the temperature control device on the water heater tank. Based on the Ziegler-Nichols tuning method, the parameters of PID control systems with double integral time  $T = 1$  second is  $a = 25,98$ ,  $b = 0,866$  and  $c = 389,7$ . System has a rise time response and reached the reference temperature at 60 ° C for 290 seconds.*

*Keywords: water heater tanks, PID control systems, LM35, microcontroller ATmega32.*

## I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sampai saat ini kontrol *Proporsional, Integral dan Derivative* (PID) merupakan alat kontrol utama yang banyak digunakan untuk pengontrolan suatu proses di bidang industri. Sistem kendali PID banyak sekali diterapkan untuk sistem pengendalian, seperti pengendalian suhu (*temperature*) di unit

proses seperti *heat exchanger*, tangki pemanas, tungku pembakaran (*furnace*), *oven*, pengendalian kecepatan motor, dan sebagainya.

Pengukuran dan pengendalian suhu merupakan suatu hal yang sering diterapkan pada proses pemanasan air. Saat ini air panas merupakan aspek yang penting penggunaannya pada perumahan, komersial dan industri. Sebagai contoh

misalnya proses pemanasan air pada fasilitas rumah tangga untuk keperluan mandi dimana panas air pada suhu tertentu harus terus dijaga pada temperatur yang telah ditentukan oleh pengguna. Ada banyak teknik untuk memanaskan air dengan cepat yaitu salah satunya dengan menggunakan elemen pemanas air. Pemanas (*heater*) yang dikendalikan secara kontinu memanaskan air hingga mencapai suhu yang diinginkan. Dalam penerapannya, tingkat akurasi pengukuran dan pengendalian yang baik sangat diperlukan sekitar 5°C sampai 10°C serta ada juga beberapa aplikasi yang membutuhkan tingkat akurasi  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Dalam tugas akhir ini, telah dirancang sistem kendali otomatis guna mengubah air dingin menjadi air panas sesuai kebutuhan. Air dingin ditampung dalam tangki penampung dan kemudian air dialirkan lagi ke dalam sebuah tangki pemanas air. Pengguna dapat mengatur tinggi rendahnya suhu air sesuai yang diinginkan melalui *input* dari *keypad* yang dihubungkan ke mikrokontroler Atmega32. Sistem pengendalian yang digunakan yaitu sistem kendali PID dimana *error* yang dihasilkan dari perbedaan antara suhu yang diinginkan dengan suhu aktual panas air yang diukur dimasukkan ke dalam algoritma PID dan *output* dari sistem kendali PID tersebut digunakan untuk menentukan berapa besar daya yang diberikan ke elemen pemanas air.

## 1.2 Batasan Masalah

1. Variabel proses pada *plant* memiliki range kerja proses tertentu.
2. Kendali suhu dengan menggunakan sistem kendali PID berbasis mikrokontroler ATmega32 dan menampilkan nilai suhu yang diinginkan (*set point*) dan nilai suhu yang diukur (*process variable*) pada *seven segment*.
3. *Plant* yang dikendalikan berupa pemanas (*heater*) elektrik yang dipasang pada pemodelan sistem tangki pemanas air.

4. Memiliki kenaikan atau penurunan suhu per 1 °C.
5. Mekanisme pengaturan parameter kontrol yang diuji adalah dengan menggunakan metode *trial and error* dan atau metode penalaan Ziegler Nichols (*Ziegler Nichols Tuning Formula*).
6. Pengukuran temperatur air berasal dari analisa yang didasarkan dari hasil yang didapatkan melalui pemakaian termometer dan instrumen pengukur lain.

## 1.3 Tujuan

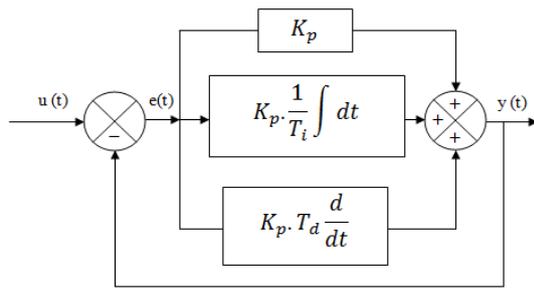
1. Mengaplikasikan teknik kendali Proporsional, Integral, Derivatif (PID) untuk perancangan sistem kendali suhu model sistem tangki pemanas air dan menampilkan nilai suhu yang diinginkan (*set point*) dari user dan nilai suhu yang diukur (*process variable*).
2. Membuat keluaran respon *plant* (suhu air) diharapkan sama dengan suhu yang diinginkan (*set point*), sehingga hasil respon *plant* memenuhi kriteria *error* minimum, *overshoot* dan *settling time* yang diharapkan.

## II LANDASAN TEORI

### 2.1 Kendali PID

Salah satu kendali yang umumnya sering digunakan dalam pengendalian suhu adalah kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Sebuah kendali PID terlihat pada nilai dari *error*, integral dari *error* selama suatu interval waktu tertentu, dan turunan (*derivative*) dari sinyal *error* untuk menentukan tidak hanya berapa banyak perbaikan yang akan diterapkan tapi juga durasi atau lamanya perbaikan dari sinyal *error* yang terjadi.

Dalam kawasan waktu, kendali PID memiliki bentuk umum seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Blok diagram kendali PID analog

Dimana  $e(t)$  adalah sinyal kesalahan dan  $u(t)$  adalah *input* kontrol untuk proses.  $K_p$  adalah penguatan proporsional,  $T_i$  adalah konstanta waktu integral, dan  $T_d$  adalah konstanta waktu turunan (*derivative*).

Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

Dalam kawasan Laplace ( $s$ ), kendali PID dapat ditulis sebagai berikut, [Ibrahim, 2002, 185]:

$$U(s) = K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] E(s) \dots\dots(1)$$

Bentuk diskrit dari kendali PID dapat diperoleh dengan mencari transformasi-z dari persamaan di atas yaitu, [Ibrahim, 2002, hlm; 185]:

$$U(z) = E(z) K_p \left[ 1 + \frac{T}{T_i(1-z^{-1})} + T_d \frac{(1-z^{-1})}{T} \right] \dots\dots(2)$$

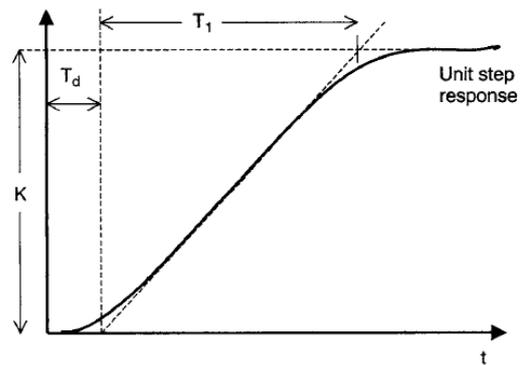
## 2.2 Tuning Paramater Kendali PID

Dalam perancangan ini, penalaan parameter PID dari *plant* dilakukan dengan menggunakan metode algoritma ziegler-nichols pada pengujian respon sistem kalang terbuka. Menurut Ziegler dan Nichols, pendekatan dari proses percobaan *open loop* yaitu dengan fungsi alih pada persamaan 3 berikut, [Ibrahim, 2002, 185]:

$$G(s) = \frac{K e^{-sT_d}}{(1+sT_1)} \dots\dots (3)$$

dimana  $G(s)$  adalah fungsi alih sistem *plant* dan koefisien  $K$ ,  $T_d$ ,  $T_1$  didapat dari

*step response* kalang terbuka dari proses seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva respon metode kalang terbuka

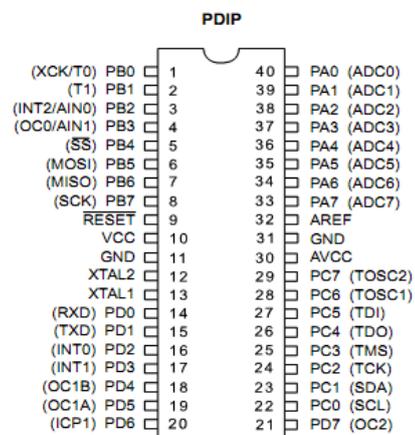
Tabel 1 merupakan pengaturan *tuning* parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi.

Tabel 1 Formula Ziegler-Nichols

Tipe Kendali	$K_p$	$T_i$	$T_D$
<i>Proportional</i>	$\frac{T_1}{K T_d}$		
<i>Proportional + Integral</i>	$\frac{0.9 T_1}{K T_d}$	$3.3 T_d$	
<i>Proportional + Integral + Derivative</i>	$\frac{1.2 T_1}{K T_d}$	$2 T_d$	$0.5 T_d$

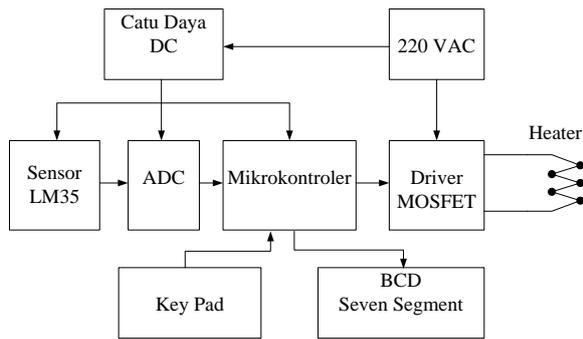
## 2.3 Mikrokontroler Atmega32

Mikrokontroler Atmega32 merupakan mikrokontroler 8-bit dengan konsumsi daya rendah produksi ATMEL yang telah didukung penuh dengan program dan sarana pengembangan seperti compiler C, simulator program, emulator dalam rangkaian dan kit evaluasi. Gambar 3 merupakan konfigurasi pin-pin pada mikrokontroler Atmega32.



Gambar 3 Konfigurasi pin mikrokontroler AVR ATmega32



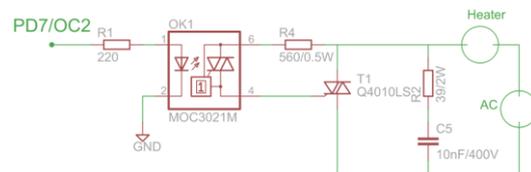


Gambar 9 Diagram blok rangkaian pengendali suhu pada sistem tangki pemanas air

Penjelasan dari masing-masing blok sistem pengendali suhu pada tangki pemanas air adalah sebagai berikut:

1. Mikrokontroler Atmega32 yang berfungsi sebagai pusat pengendali untuk mengaplikasikan sistem kendali PID, mengolah sinyal yang diterima dari sensor suhu, menampilkan nilai suhu pada penampil *seven segment* dan menghasilkan *output* kendali yang menggunakan bahasa C sebagai bahasa pemrograman.
2. Catu daya sebagai penyedia tegangan DC yang dibutuhkan oleh setiap rangkaian pada sistem.
3. *Heater* (pemanas) berfungsi sebagai pennghasil energi panas yang digunakan untuk memanaskan suhu air di dalam tangki pemanas dan akan terus menjaga suhu air pada nilai suhu yang diinginkan. Elemen pemanas air akan mendapatkan masukan tegangan selama suhu air belum mencapai nilai *set point* suhu.
4. Sensor suhu LM35 berfungsi untuk mengukur suhu air dimana sensor ini dipasang pada permukaan tangki pemanas. Sinyal *output* sensor yang berupa sinyal analog langsung dihubungkan ke ADC mikrokontroler Atmega32 *channel* 0 (pin 40).
5. *Keypad* berfungsi untuk memasukkan nilai *set point* suhu dan nilai toleransi *error*.
6. *Driver* MOSFET (pengendali tegangan AC) berfungsi untuk mengendalikan tegangan AC yang

diberikan ke elemen pemanas air melalui *predriver optocoupler* MOC3021 sesuai sinyal kendali dari mikrokontroler. *Predriver optocoupler* MOC3021 memberikan waktu tunda sudut pemacu TRIAC untuk menghasilkan berapa besar tegangan yang akan diberikan ke beban (*heater*).



Gambar 10 Rangkaian *driver* TRIAC

7. *Seven segment* merupakan penampil nilai *set point* suhu dan nilai *process variable*.
8. *ADC* (*analog to digital converter*) berfungsi sebagai pengubah sinyal analog yang dihasilkan dari sensor suhu menjadi sinyal digital agar dapat diolah oleh mikrokontroler. *ADC* ini sudah terdapat pada mikrokontroler Atmega32 yang disediakan pada pin 33 sampai pin 40 dari mikrokontroler Atmega32.



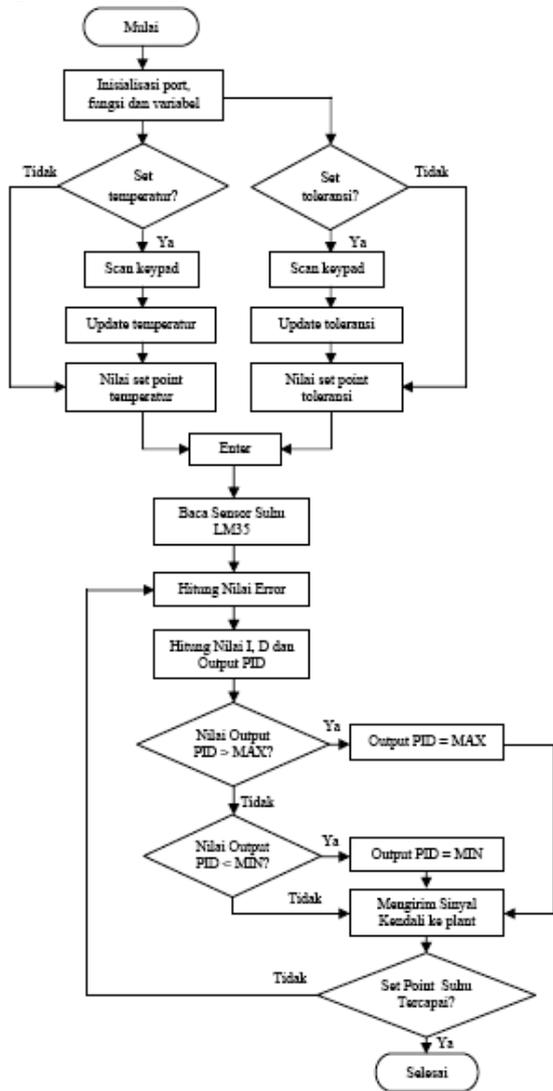
Gambar 11 Unjuk kerja sistem kendali PID pada tangki pemanas air untuk fasilitas rumah tangga berbasis mikrokontroler Atmegaa32

## 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

### 3.2.1 *Software* Kendali PID

Pada perancangan alat ini digunakan metode sistem kendali PID

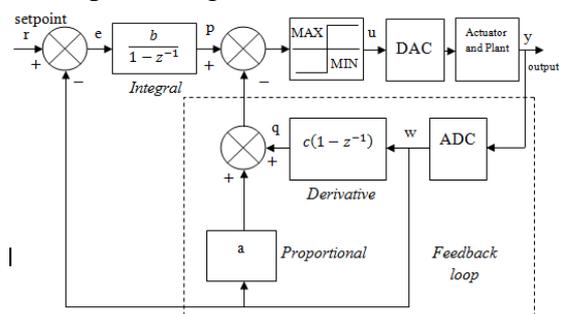
untuk mengendalikan suhu. Nilai parameter  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  dideklarasikan pada fungsi `int main()` yang sebelumnya variabel  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  tersebut sudah dideklarasikan sebagai variabel global. *Flowchar* program utama diperlihatkan pada Gambar 12:



Gambar 12 Diagram alir program utama

Pembuatan diagram alir program utama bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan pemrograman sehingga program dapat berjalan dengan baik pada mikrokontroler. Pertama ditentukan terlebih dahulu *port-port* yang akan digunakan dan menentukan nilai *error* yang didapatkan dari perbandingan nilai *set point* suhu dan nilai *variable process*. *Error* yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan

algoritma PID untuk menghasilkan *output* sinyal kendali yang kemudian akan dikirim ke pin OC2 mikrokontroler melalui *timer 2 output compare match*. *Output* kendali PID diberi batasan nilai maksimum dan minimum. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya *integral windup* yang disebabkan oleh aksi kendali integral. *Output* sinyal kendali ini kemudian digunakan untuk mengendalikan *driver* tegangan AC. Perhitungan algoritma kendali PID dipanggil dalam program *interrupt service routine (timer 2 compare match)* yang memiliki *timer/counter* 8 bit sehingga *output* kendali akan maksimal saat TCNT2 sama dengan 256. Sinyal kendali dari mikrokontroler merupakan mode sinyal *fast PWM*. Semakin besar sinyal kendali yang diberikan ke *driver* tegangan AC (*driver TRIAC*) maka semakin besar pula tegangan yang diberikan ke pemanas (*heater*). Pada Gambar 13, ditunjukkan diagram blok sistem kendali PID yang akan diterapkan dalam perancangan alat.



Gambar 13 Diagram blok realisasi sistem kendali PID

Dari persamaan 2 kita dapat menuliskan kembali persamaan tersebut seperti persamaan 4 di bawah ini:

$$\frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1-z^{-1}} + c(1-z^{-1}) \dots(4)$$

dimana:

$$a = K_p \quad b = \frac{K_p T}{T_i} \quad c = \frac{K_p T_D}{T} \dots(5)$$

## IV PENGUJIAN DAN ANALISA

### 4.1 Pengujian Perangkat Keras

#### 4.1.1 Pengujian Proses Kenaikan Suhu

Pada tahap pengujian ini, dilakukan pengukuran proses kenaikan suhu selama beberapa menit dengan batasan suhu sebesar 40 ° C. Penulis menggunakan termometer analog sebagai acuan untuk mengamati kepresisiannya.

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran kenaikan suhu

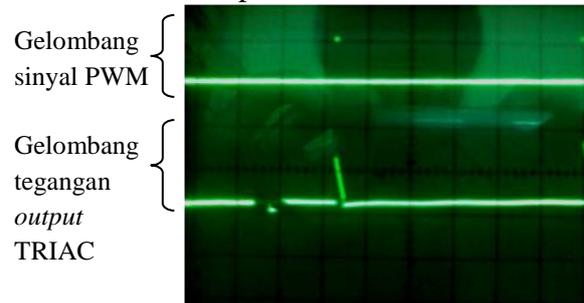
Waktu (detik)	Suhu pemanas		Selisih pembacaan suhu (°C)
	Termometer (°C)	Seven segment (°C)	
0.	27	27	0
5.	27	28	1
10.	28	28	0
15.	28	29	1
20.	29	29	0
25.	30	29	1
30.	31	30	1
35.	31	32	1
40.	32	32	0
45.	32	32	0
50.	33	33	0
55.	33	34	1
60.	33	34	1
65.	33	34	1
70.	33	35	2
75.	33	35	2
80.	33	36	3
85.	34	36	2
90.	34	37	3
95.	34	37	3
100.	35	37	2
105.	35	37	2
110.	36	37	1
115.	37	38	1
120.	38	38	0
125.	39	39	0
130.	39	39	0
135.	40	39	1
Jumlah selisih			30
Rata-rata selisih			1,07

Dari pengambilan data di atas, masih terdapat beberapa tampilan suhu pada termometer yang tidak sesuai dengan tampilan suhu pada *seven segment*. Hal ini

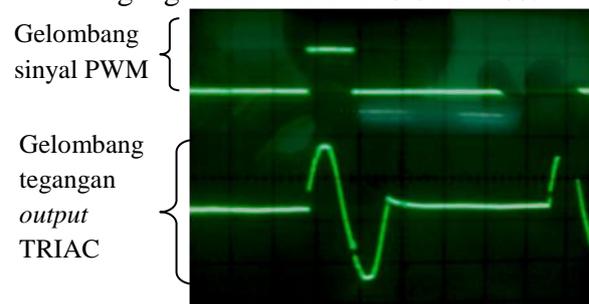
terjadi karena tingkat stabilitas sensor dan respon pengukuran dari alat ukur yang digunakan (termometer) serta *delay* pada program. Dari tabel di atas dilihat bahwa rata-rata selisih pembacaan sensor dengan termometer sebesar 1,07 °C.

#### 4.1.2 Pengujian Beban dan Rangkaian Driver TRIAC

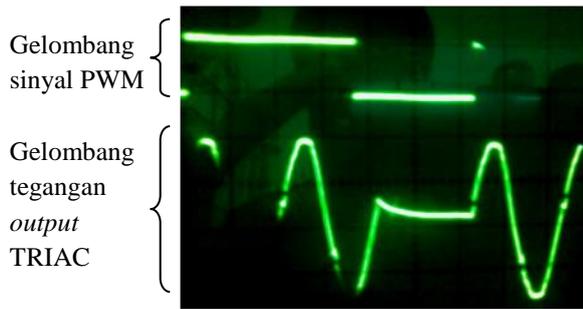
Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian *driver TRIAC* apakah hasil *output* tegangan dari rangkaian sesuai dengan sudut penyulutan yang dikendalikan oleh sinyal PWM melalui *optocoupler* MOC3021. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope* terhadap sinyal kontrol dari mikrokontroler (sinyal PWM) dan keluaran *driver TRIAC* yang diberikan ke beban berdasarkan sinyal kontrol yang diberikan. Hasil pengujian terlihat pada Gambar 14 sampai 17 berikut.



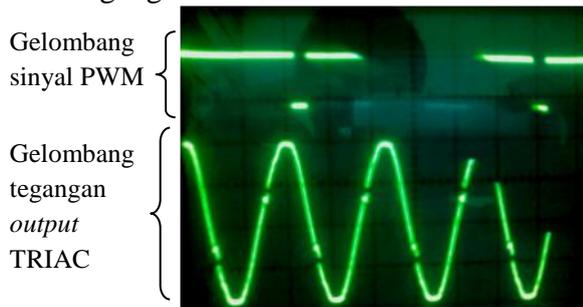
Gambar 14 Gelombang sinyal picu dan tegangan beban untuk OCR2 = 0%



Gambar 15 Gelombang sinyal picu dan tegangan beban untuk OCR2 = 30%



Gambar 16 Sinyal picu (PWM) dan tegangan beban untuk OCR2 = 60%

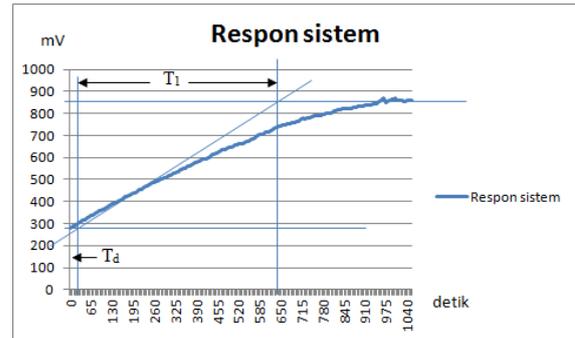


Gambar 17 Sinyal picu (PWM) dan tegangan beban untuk OCR2 = 100%

Keempat bentuk gambar gelombang tegangan pada beban yang diuji, dapat diketahui bahwa semakin besar sinyal kontrol yang diberikan ke pemacu TRIAC (*optocoupler* MOC3021), maka tegangan AC yang diberikan ke beban untuk tiap fasenya (fase positif dan fase negatif) akan semakin besar, yang berarti bahwa tegangan listrik yang diberikan ke beban akan semakin besar.

#### 4.2 Pengujian Perangkat Lunak

Karakteristik *plant* model sistem tangki pemanas air dapat diketahui dengan melakukan pengujian kalang terbuka. Pengujian kalang terbuka dilakukan dengan memberikan tegangan maksimal 220 VAC atau saat *output* kendali (OCR2) sebesar 100% pada tangki pemanas air selama 20 menit.



Gambar 18 Respon sistem untuk pengujian kalang terbuka

Grafik respon sistem untuk pengujian kalang terbuka diatas digunakan sebagai acuan untuk mencari parameter PID. Respon sistem tersebut memperlihatkan *output* model IPDT (*Integrating Plus Dead Time*). Waktu mati ( $T_d$ ) pada respon sistem tersebut adalah sebesar 30 detik, *output* kontrol akan memanaskan *plant* saat memulai pengujian. Konstanta waktu naik ( $T_1$ ) pada respon kalang terbuka adalah sebesar 630 detik sebelum keadaan sistem stabil. *Duty cycle* mikrokontroler akan diatur pada kenaikan dari 0 hingga 256 dan akan diamati setiap 5 detik. Percobaan dimulai dari suhu air sebelum dipanaskan yaitu pada suhu  $28^\circ\text{C}$  dan *output* sensor suhu yaitu sebesar 280 mV. *Gain* integratif proses ( $K$ ) didapatkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$K = \frac{(860 - 280)}{(630 - 30)} = 0,97 \text{ mV}/\mu\text{s}$$

Dengan demikian, fungsi alih kalang terbuka dari sistem adalah:

$$G(s) = \frac{0,97e^{-30s}}{(1 + 630s)}$$

Berdasarkan metode percobaan kalang terbuka Ziegler Nichols, parameter PID didapatkan dari persamaan:

$$K_p = \frac{1,2 T_1}{K T_d}, \quad T_i = 2T_d, \quad T_D = 0,5T_d$$

Dengan demikian:

$$K_p = \frac{1,2 \times 630}{0,97 \times 30} = 25,98$$

$$T_i = 2 \times 30 = 60$$

$$T_D = 0,5 \times 30 = 15$$

Dengan menggunakan persamaan 5, parameter PID adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{a} = K_p \quad \mathbf{b} = \frac{K_p T}{T_i} \quad \mathbf{c} = \frac{K_p T_D}{T}$$

Apabila waktu pencuplikan (*sampling time* (T)) yang ditentukan adalah 1 detik dan 5 detik, maka:

Untuk T = 1 detik.

$$\mathbf{a} = 25,98 \quad \mathbf{b} = \frac{25,98 \times 1}{60} = 0,433$$

$$\mathbf{c} = \frac{39,7 \times 15}{1} = 389,7$$

Untuk T = 5 detik:

$$\mathbf{a} = 25,98 \quad \mathbf{b} = \frac{25,98 \times 5}{60} = 2,165$$

$$\mathbf{c} = \frac{25,98 \times 15}{5} = 77,94$$

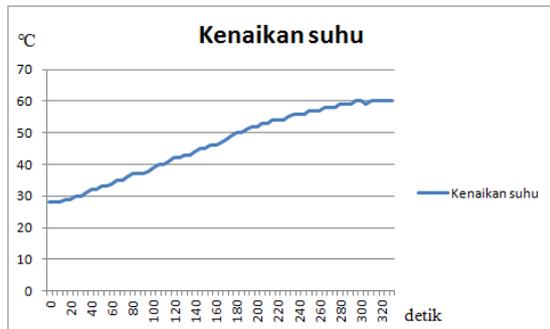
Pengendalian akan mengalami pengulangan selama waktu yang diberikan yaitu 1 detik dan 5 detik.

Gambar 19 memperlihatkan respon sistem dengan parameter PID yaitu  $\mathbf{a} = 25,98$ ,  $\mathbf{b} = 0,433$  dan  $\mathbf{c} = 389,7$  dengan waktu pencuplikan (T) yang telah ditentukan selama 1 detik dan pencapaian suhu sebesar 60°C. Grafik respon sistem dengan parameter PID yaitu  $\mathbf{a} = 25,98$ ,  $\mathbf{b} = 2,165$  dan  $\mathbf{c} = 77,94$  dengan waktu pencuplikan (T) selama 5 detik diperlihatkan pada Gambar 20. Pada hasil percobaan, kedua respon sistem tersebut memiliki *rise time* dan waktu pencapaian suhu yang sama yaitu sebesar 295 detik pada pencapaian suhu yang diharapkan

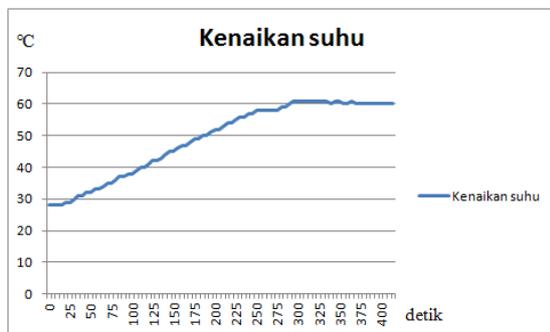
sebesar

60

Namun, respon sistem dengan waktu pencuplikan ( $T$ ) selama 5 detik memiliki *overshoot* dan *settling time* yang lebih lama.



Gambar 19 Grafik respon sistem untuk  $T = 1$  detik

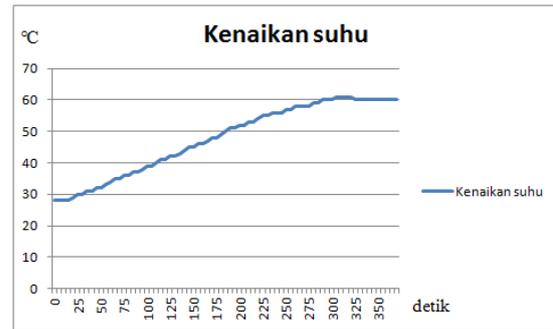


Gambar 20 Grafik respon sistem untuk  $T = 5$  detik

Pada Gambar 21, memperlihatkan grafik respon sistem dengan percobaan dua kali waktu pengintegralan yaitu  $a = 25,98$ ,  $b = 0,866$  dan  $c = 389,7$  untuk waktu pencuplikan selama 1 detik dan pencapaian suhu pada  $60^{\circ}\text{C}$ . Pada hasil percobaan, respon sistem tersebut memiliki *rise time* dan pencapaian suhu lima detik lebih cepat yaitu selama 290 detik tetapi respon sistem memiliki *overshoot*.

o

C.



Gambar 21 Grafik respon sistem dengan dua kali waktu pengintegralan untuk  $T = 1$  detik

## V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada sistem kendali PID untuk kendali suhu pada tangki pemanas air, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan metode pengujian respon sistem kalang terbuka Ziegler-Nichols, *plant* tangki pemanas air menghasilkan parameter sistem yaitu  $T_d = 30$ ,  $T_i = 630$  dan  $K = 0,97$ .
2. Pada pengujian dengan dua kali waktu pengintegralan yaitu  $a = 25,98$ ,  $b = 0,866$  dan  $c = 389,7$  untuk waktu pencuplikan  $T = 1$  detik dan pencapaian suhu pada  $60^{\circ}\text{C}$ , respon sistem memiliki *rise time* dan pencapaian suhu lima detik lebih cepat yaitu selama 290 detik tetapi respon sistem memiliki sedikit *overshoot*.

### 5.2 Saran

1. Untuk menjaga agar sistem dapat tetap memberikan sinyal kendali yang kecil guna menjaga suhu air, maka bisa dilakukan dengan cara memberikan suatu nilai secara terpisah yang ditambahkan pada persamaan PID dan dinyatakan sebagai nilai tetap (*constant*) pada program. Nilai konstanta ini merupakan nilai yang dianggap sebagai sinyal *error* pada saat sistem dalam keadaan stabil (*steady state*).
2. Sistem yang telah dirancang dalam tugas akhir ini merupakan sistem yang

digunakan untuk pengendali suhu tingkat menengah. Untuk merancang sistem pengendali suhu yang akan diterapkan untuk industri besar diperlukan analisa lebih lanjut baik dalam sistem pemanasan (*heating*) dan sistem pendinginan (*cooling*) pada *plant*. Kemudian, diperlukan juga pembelajaran lebih lanjut baik dalam teknik elektronika dan teknik pengendaliannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Astrom J. Kart and Hagglund Tore., 1995., PID Controllers, 2nd Eddition, Instrument Society of America.
- [2]. Atmel Corporation, [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVRATmega32A\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVRATmega32A_Datasheet.pdf), Agustus 2013.
- [3]. Barrett F. Steven, Thornton A. Mitchell., 2009., Embedded Systems Design with the Atmel AVR Microcontroller – Part I, Synthesis Lectures On Digital Circuits and Systems, Morgan & Claypool Publishers.
- [4]. Bensky Alan, Bird John, Bolton Bill., 2008., Engineering ebook “**Electrical**
- [5]. Engineering Know It All”, Elsevier Inc, Oxford, UK.
- [6]. Bolton W., 2004., Instrumentation and Control Systems, Elsevier Science & Technology Books.
- [7]. Fitriyadi Eka., Makalah Seminar Tugas Akhir., Aplikasi Kontrol PID untuk Pengontrolan Suhu Model Sistem Hipertermia Berbasis Sensor Thermopile MLX90247, November 2013.
- [8]. Ibrahim Dogan., 2002., Microcontroller Base Temperature Monitoring and Control, Elsevier Science & Technology Books.
- [9]. Johnson A. Michael & Moradi H. Mohammad., 2005., PID Control, New Identification and Design Methods, Springer-Verlag London Limited.
- [10]. Lewis Bryon., 2007., Control System Engineering Exam Reference Manual, ISA, USA.
- [11]. Muchlas., 2005., Rangkaian Digital, Penerbit Gava Media, Yogyakarta.
- [12]. Nursyamsu Ardi, 2011., Masuki Dunia Hacker Dengan C++, Jasakom.
- [13]. Ogata, Katsuhiko, *Modern Control Engineering 4th ed.*, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [14]. Raharjo Budi., 2009., Pemrograman C++, Informatika, Bandung.
- [15]. Yurkevich D. Valery., 2011., Advance PIC Control, Intech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia.
- [16]. Whitt D. Michael., 2004., Successful Instrumentation and Control Systems Design, ISA, USA.
- [17].