

# PERANCANGAN *PLANT* PENCAMPUR AIR MENGGUNAKAN KONTROL *PID* UNTUK PENGATURAN SUHU CAIRAN BERBASIS ATMEGA16

Rega Sakti Ruzianto<sup>\*</sup>), Budi Setiyono, and Sumardi

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

<sup>\*</sup>E-mail: ruziantorega@gmail.com

## Abstrak

Pemanas air pada saat ini telah menjadi kebutuhan pokok bagi sebagian masyarakat di dunia, terutama masyarakat yang bermukim di daerah dengan musim dingin. Air hangat biasanya digunakan untuk mandi, mencuci, merendam dan kegiatan rumah tangga lainnya. Kemajuan teknologi saat ini menuntut agar sistem pemanas menjadi lebih praktis dan mudah digunakan. Pada penelitian ini dibuat prototype sistem pemanas dengan pencampuran air secara otomatis sehingga dapat mengatur suhu air dengan lebih mudah. Otomatisasi alat ini meliputi penetapan suhu air yang ingin digunakan sebagai set point sehingga air panas yang keluar dari keran sudah sesuai dengan suhu air yang diinginkan tanpa perlu mencampurkan dengan air dingin lagi. Metode kontrol yang digunakan adalah pencampuran air adalah kontrol PID. Dalam proses pencampurannya digunakan air panas dengan suhu sekitar 70°C dan air biasa dengan suhu normal 30°C. Proses pencarian nilai parameter kendali PID dengan menggunakan metode trial and error, yaitu dengan memberikan gain parameter secara acak sampai respon sistem sesuai dengan yang diinginkan. Sensor suhu LM35 digunakan untuk mengukur suhu pada air. Hasil pengujian diperoleh bahwa penengendalian suhu air dengan cara pencampuran menggunakan metode kontrol PID dengan nilai  $k_p=15$  dan  $k_d=5$  menghasilkan respon sistem dengan suhu yang stabil dan nilai eror yang kecil antara 2-4 °C.

*Kata Kunci : Pemanas air, system kontrol PID, Sensor suhu LM35*

## Abstract

The water heater nowadays has become a basic requirement for most people in the world, especially the people who live in areas with winters season. Hot water is usually used for bathing, washing, soaking and many other activities. Advances in technology now demands that heating systems are becoming more practical and easy to use. In this study, a prototype made by mixing water heating system automatically so as to regulate the temperature of the water more easily. Automation of these tools include the water temperature settings you want to use as a set point so that the hot water coming out of the tap is in accordance with the desired water temperature without mixing with cold water manually. The control method used for mixing water is PID control. In the process of mixing used hot water with a temperature of around 70°C and cold water with a normal temperature of 30°C. LM35 temperature sensor is used to measure the temperature of the water. The test results showed that the temperature control of water by mixing using PID control method with the value  $k_p=15$  and  $k_d=5$  produces a response system with stable temperature and a small error value between 2-4°C.

*Keywords : water heater, control system PID, LM35*

## 1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari pada saat ini hampir semua orang membutuhkan air panas sebagai salah satu kebutuhan mereka. System air panas ini biasa digunakan untuk mandi, mencuci, merendam atau pemakaian lainnya. Sistem air panas ini di maksudkan untuk memberikan kenyamanan dan kesegaran bagi masyarakat umum, jadi

air panas ini sangat bermanfaat bagi kita terutama saat pemakaian di mandi pagi dan juga malam hari, mandi menggunakan air hangat akan membuat kulit terasa nyaman sehingga tubuh menjadi rileks. Bahkan mandi menggunakan air hangat bisa mengurangi kejang otot karena lelah habis kerja seharian [1]. Setiap orang saat ini ingin mendapatkan air panas yang selalu tersedia setiap waktu bagi mereka. Dengan meningkatnya kebutuhan air

panas ini, masyarakat sudah mulai banyak yang menggunakan pemanas air otomatis (*water heater*).

Pemanas air merupakan seperangkat peralatan yang prosesnya menggunakan konsep thermodynamic, memanfaatkan sumber energy untuk memanaskan air yang hendak dialirkan sesuai temperature yang telah diset sebelumnya [2].

Berawal dari seorang pelukis asal London, Inggris, Benjamin Waddy Maughan, pada tahun 1868. Maughan menemukan water heater dosmetik instan persama yang tidak menggunakan bahan bakar, alias tidak perlu masak di kompor. Ia menamai penemuannya ini “Geyser”, sebuah alat water heater yang bekerja secara manual [2].

Pada sistem pemanas air dengan skala yang besar banyak digunakan di hotel, apartemen, rumah sakit dan tempat umum lainnya yang membutuhkan air dengan panas yang maksimal dan dalam jumlah yang besar. Pada tempat seperti itu biasanya air panas yang diberikan berasal dari suatu sumber yang besar dengan suhu air yang di atur panas maksimal sesuai kebutuhan utama sumber dari air panas tersebut. Untuk mendapatkan suhu air panas yang kita inginkan pada tempat-tempat tersebut seperti di hotel ataupun rumah sakit dalam kamar mandinya biasanya terdapat dua buah keran yaitu panas dan dingin. Dengan memutar kedua buah keran tersebut secara manual kita dapat menyesuaikan suhu air panas sesuai dengan yang kita inginkan.

Berdasarkan alasan tersebut, maka dalam penelitian penelitian ini akan dilakukan perancangan alat yang dapat mengatur suhu berdasarkan pada pengaturan kedua keran secara otomatis sesuai dengan suhu air panas yang kita inginkan. Selanjutnya, dengan diaplikasikannya metode kontrol yang tepat saat proses penyesuaian suhu air panas, yang merupakan proses terpenting dalam pembuatan alat pengatur pemanas air ini , maka kestabilan suhu dapat tercapai dengan baik sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Keakuratan pengukuran suhu air panas merupakan aspek terpenting dalam proses ini. Beberapa cara digunakan untuk mengukur suhu air dengan menggunakan beberapa sensor suhu seperti thermocouple, RTD, thermistor, dan IC sensor [11]. Dalam penelitian ini digunakan sensor suhu IC LM-35 sebagai pendeteksi suhu air, sensor suhu LM-35 dipilih karena sensor ini memiliki beberapa kelebihan yaitu outputnya paling linear, perubahan level output paling tinggi dan harganya yang murah [5].

Untuk memenuhi persyaratan kinerja kontrol yang tinggi dan kemajuan sistem kontrol, metode kontrol yang digunakan dalam industri adalah proporsional, integral dan derivatif (PID) yang banyak digunakan sejak empat dekade terakhir [3].

Pada penelitian ini akan dibuat implementasi kendali PID pada pengaturan suhu air panas pada pemanas air berdasarkan pengaturan keran air panas dan dingin secara otomatis. Mikrokontroler ATmega16 digunakan sebagai perangkat keras pengendali utama. Kendali PID ini diharapkan dapat menghasilkan respon sistem yang ideal dengan *rise time* dan *settling time* yang kecil serta nilai *maximum overshoot* yang masih dalam batas toleransi.

## 2. Metode

### 2.2. Pengendalian PID

Pengendali PID adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan derivatif. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan sebagai berikut [5].

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

atau

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Dengan,

$u(t)$  = sinyal keluaran pengendali PID

$K_p$  = konstanta proporsional

$T_i$  = waktu integral

$T_d$  = waktu turunan

$K_i$  = konstanta integral

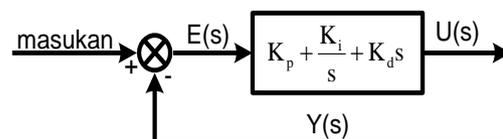
$K_d$  = konstanta turunan

$e(t)$  = sinyal kesalahan

Fungsi alih pengendali PID (dalam domain  $s$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (3)$$

Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram blok pengendali PID

Realisasi kontrol PID digital akan ditemukan dalam sistem berbasis mikroprosesor. Sistem kontrol PID digital bekerja dalam basis-basis waktu diskrit, sehingga persamaan matematis waktu diskrit diperlukan untuk aplikasi kontrol PID kedalam sistem mikroprosesor. Dari persamaan (1), kontrol PID ideal dalam kawasan diskret

yang ditanam dalam kawasan mikroprosesor memiliki bentuk seperti persamaan (4).

$$CO(K) = CO_p(K) + CO_i(K) + CO_d(K) \quad (4)$$

Dengan

$$CO_p(t) = K_p \cdot e(k) \quad (5)$$

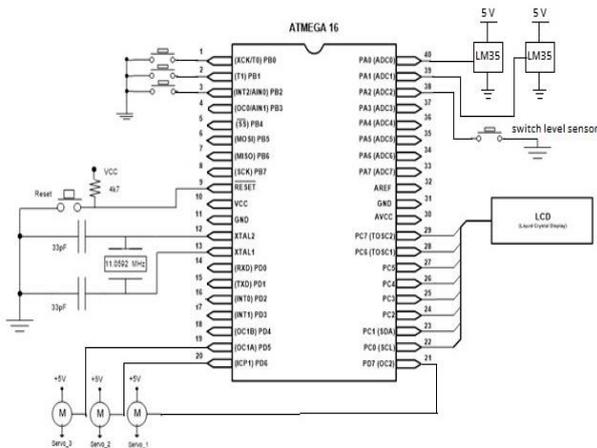
$$CO_i(t) = CO_i(k-1) + \frac{K_p T_c}{T} e(k) \quad (6)$$

$$CO_d(t) = K_d \cdot T_d \frac{(e(k) - e(k-1))}{T_c} \quad (7)$$

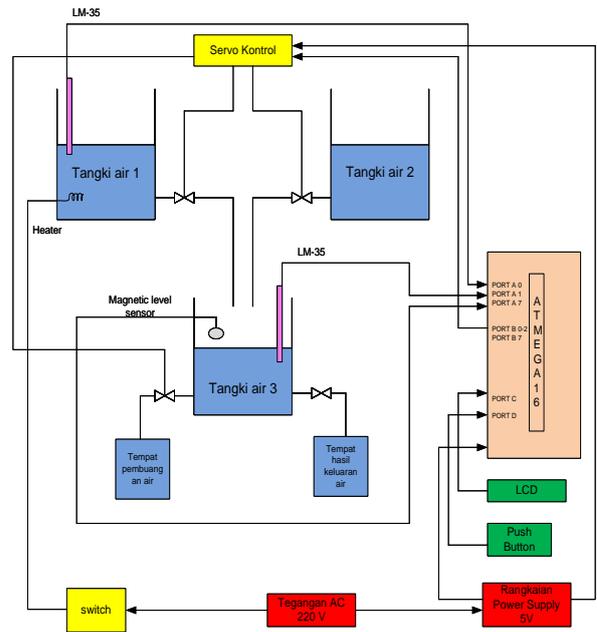
### 2.3. Perancangan Hardware

Perancangan *plant* terdiri dari beberapa komponen utama diantaranya 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 tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
3. LCD (*Liquid Crystal Display*) digunakan sebagai media tampilan (*display*) selama proses pengendalian berlangsung
4. Sensor suhu LM-35 difungsikan sebagai sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi suhu air pada tangki.
5. Sensor *float level switch* digunakan sebagai pendeteksi ketinggian level air untuk menjaga jika terjadi kelebihan maka air panas akan di buang
6. Motor servo sebagai aktuator yang digunakan untu membuka dan menutup *ball valve*.
7. *Heater* (Pemanas cairan) dengan daya 600 watt dengan sumber tegangan ac.
8. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem secara keseluruhan.



Gambar 2. Alokasi port pada sistem minimum mikrokontroler ATmega16



Gambar 3. Rancangan Perangkat keras alat pencampur air

### 2.4. Perancangan Pengendali PID

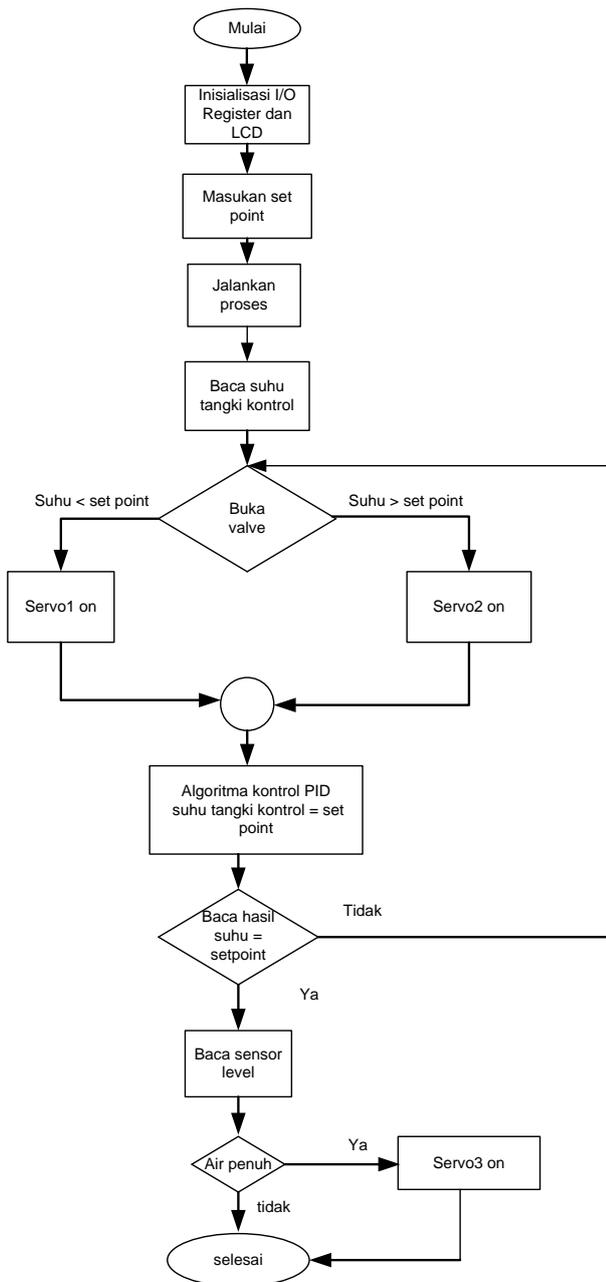
Pada penelitian ini digunakan metode kontrol PID untuk mengendalikan suhu campuran air. Sesuai dengan persamaan PID yang telah dijelaskan maka dapat direalisasikan kedalam bahasa C, dimana kendali PID tersebut diperoleh dari diskretasi persamaan 1 hingga menjadi 12. Persamaan 10-12 inilah yang direalisasikan ke dalam bahasa C. Kendali PID akan menghasilkan sinyal kontrol antara 0% sampai 100%, dimana sinyal kontrol digunakan untuk menggerakkan motor *servo*. Nilai parameter  $K_p, K_i,$  dan  $K_d$  di dapatkan dari setting yang telah ditentukan oleh user. *Error* digunakan sebagai masukan pada kontrol PID.

### 2.5. Perancangan Software

Pemrograman mikrokontroler ATmega16 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan software pada penelitian ini juga menggunakan bahasa C dengan compiler *Code Vision AVR* versi 2.04.4a Flowchart sistem dapat dilihat pada gambar.

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

1. Perancangan program utama
2. Program Inisialisasi I/O data variabel
3. Program pengambilan data ADC (sensor suhu LM35)
4. Program tampilan LCD
5. Program Pengendalian PID



Gambar 4. Diagram alir plant pemanas air

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1. Pengujian Sensor Suhu LM35

Pengujian sensor LM35 dilakukan dengan membandingkan suhu yang terbaca oleh sensor dengan suhu aktual yang terbaca oleh termometer analog. Hasil pengukuran dan pembacaan sensor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan suhu pembacaan termometer dengan pembacaan sensor LM35.

No	Suhu Termometer (°C)	Sensor LM35 (°C)		Error	
		1	2	1	2
1	30	30.3	30.5	0.3	0.5
2	32	32.4	32.2	0.4	0.2
3	35	34.8	35.1	0.2	0.1
4	38	38.3	38.3	0.3	0.3
5	40	40.5	40.3	0.5	0.3
6	43	43.3	43.4	0.3	0.4
7	45	44.8	45.2	0.2	0.2
8	47	47.2	46.6	0.2	0.4
9	50	50.3	50.7	0.3	0.7
10	53	53.4	53.1	0.4	0.1
Σerror				3.1	3.2
Error rata-rata				0.31	0.32

Dari data pada tabel 1 dapat dilihat bahwa dari sepuluh kali pengambilan data antara pembacaan sensor LM35 dengan termometer didapatkan selisih rata-rata sebesar 0,31°C pada sensor 1 dan 0.32 °C pada sensor 2.

#### 3.2. Pengujian Penalaan PID

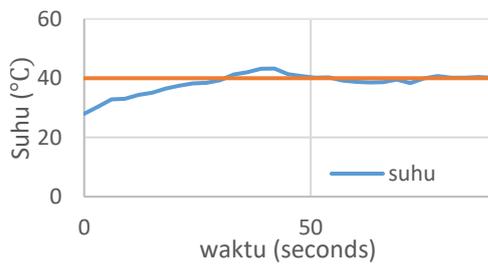
Pengujian sistem dengan menggunakan controller PID ini dilakukan dengan memberikan parameter PID dalam hal ini Kp, Ki, dan Kd kedalam sistem sehingga dari pemberian parameter gain tersebut diharapkan respon sistem dapat lebih baik lagi. Pada pengujian ini dilakukan penalaan PID secara *trial and Error* yaitu dengan memberikan parameter gain controller secara acak, sehingga dari pemberian gain tersebut dapat menghasilkan hasil respon sistem yang kiranya terbaik, dengan parameter penentuan berdasarkan kestabilan respon sistem tersebut. Pengujian ini dilakukan secara kontinyu dengan variasi data sebanyak 10 data parameter dengan set point suhu sebesar 40 °C.

Tabel 2. Variasi data parameter gain PID dengan set point 40 °C

No.	Kp	Ki	Kd
1	5	0	0
2	10	0	0
3	15	0	0
4	20	0	0
5	15	0	2
6	15	0	5
7	15	0	8
8	15	2	0
9	15	5	0
10	15	2	5

Dengan mengacu dari tabel 2 maka grafik respon dari sistem dapat dilihat pada gambar 5-7 berikut ini.

1. Pengaruh Kontroller KP = 5

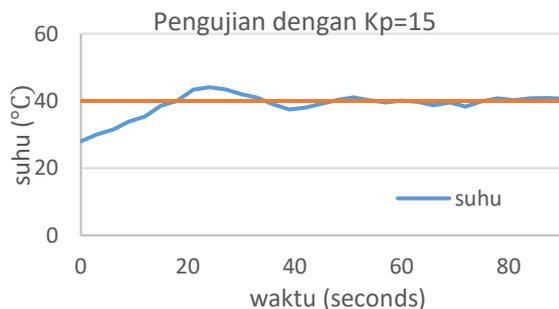


Gambar 5. Grafik respon sistem dengan Kp = 5

Dari gambar 5 pemberian parameter nilai Kp sebesar 5 menghasilkan Tr sebesar 33 detik, Tp sebesar 39 detik, Ts sebesar 73 detik dan Mp sebesar 11,5% sedangkan untuk gambar.

Nilai overshoot masih terlalu besar dan waktu mencapai kestabilan masih terlalu lama sehingga perlu mencoba apabila nilai parameter Kp perlu ditambah menjadi lebih besar.

2. Pengaruh Kontroller KP = 15



Gambar 6. Grafik Respon sistem dengan Kp = 15 pada suhu set point 40 °C

Dari gambar 6 nilai Kp 15 menghasilkan Tr sebesar 20 detik, Tp sebesar 31 detik, Ts sebesar 52 detik dan Mp sebesar 17,5% sedangkan untuk gambar.

Nilai overshoot masih terlalu besar dan waktu mencapai kestabilan masih terlalu lama sehingga perlu mencoba apabila sistem diberi gain Kd. Pemberian nilai gain Kd dapat membuat respon sistem menjadi lebih stabil dan mempercepat waktu mencapai kestabilan.

3. Pengaruh Kontroller KP = 15 Kd=5

Pada gambar 7 nilai Kp 15 Kd 5 grafik respon menunjukkan sebesar Tr sebesar 20,4 detik, Tp sebesar 30 detik, Ts sebesar 41 detik dan Mp sebesar 11,24%.

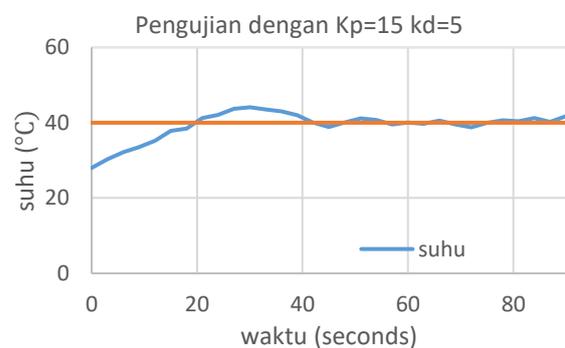
Dari gambar grafik diatas dapat dilihat respon sistem dapat dikatakan baik dan lebih stabil dengan nilai

overshoot berkurang, dari gambar bisa dikatakan respon sistem stabil atau sesuai yang diinginkan dari hasil penambahan nilai gain Kd. Penambahan gain Ki bisa menjadi opsional jika nilai respon telah stabil atau sesuai yang kita inginkan, penambahan gain Ki dapat menurunkan nilai Tr dan menghilangkan error steady state.

Pada gambar 7 grafik respon menunjukkan sebesar Tr sebesar 18,3 detik, Tp sebesar 24 detik, Ts sebesar 45 detik dan Mp sebesar 11,75%. Dari respon sistem terlihat kestabilan yang baik dengan menambahkan gain Kd dan gain Ki yang bernilai kecil.

Gambar respon diatas menunjukkan bahwa respon sitem dapat menjadi lebih baik dengan menggabungkan parameter gain Kp, Ki ,dan Kd. Jika dibandingkan dengan gambar 5 penambahan nilai parameter gain Ki membuat Tr menjadi lebih cepat dan karena respon dari gain gain Ki yang cenderung lambat sehingga waktu untuk mencapai kestabilan Ts menjadi lebih lama.

Dari overshoot terlihat bahwa penambahan parameter gain Ki dapat menambah nilai overshoot sistem dapat dilihat dari nilai persentase Mp yang bertambah menjadi 11,75 % jika di bandingkan dengan gambar 7



Gambar 7. Grafik respon sistem dengan Kp = 15 Kd = 5 pada suhu set point 40 °C

Tabel 3. Respon Sistem dengan Gain PID

No.	Kp	Ki	Kd	Ts (s)	Tp (s)	Tr (s)	Mp (%)
1	5	0	0	73	39	33	11,5
2	10	0	0	57	33	24	28,5
3	15	0	0	52	31	20	17,5
4	20	0	0	59	21	15	32,5
5	15	0	2	51	29	21	17,25
6	15	0	5	41	30	20	11,24
7	15	0	8	54	24	19	12,5
8	15	2	0	63	33	20	18,25
9	15	5	0	49	27	19	30,7
10	15	2	5	45	24	18	11,75

Berdasarkan hasil respon yang telah ditampilkan dalam table 3. Diperoleh kesimpulan hasil terbaik ada pada gain PID dengan parameter Kp = 15, Ki = 0, dan Kd = 5. Respon yang diperoleh adalah sistem dengan respon

berjalan lebih stabil dan lebih cepat mencapai nilai ke stabilan.

### 3.3. Pengujian Hasil

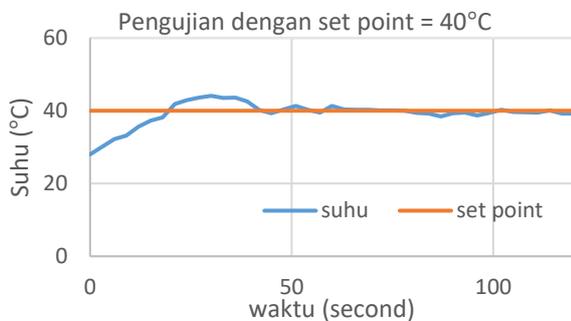
Pada pengujian ini akan dilakukan pengujian hasil proses dengan beberapa variasi suhu set point. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsistensi suhu keluaran air panas pada alat pengatur suhu cairan pada pemanas air ini, dalam pengujian dapat diketahui besar eror yang didapat dan grafik dari perubahan suhu yang terjadi pada alat tersebut.

#### 1. Pengujian dengan set point 40 °C

Tabel 4. pengujian pada set point 40°C

Pengujian	Setpoint (°C)	Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	40	40,7	0,7
Ke-2	40	40,4	0,4
Ke-3	40	41,3	1,3
	$\Sigma$ Error		2,4
	Error rata-rata		0,8

Tabel 4 merupakan hasil pengujian pada set point 40 °C. Hasil pengujian didapatkan hasil suhu air rata-rata yaitu 40,8 °C. Dengan demikian hasil pengujian sedikit melebihi *set point* dengan *error* ± 8% , *error* pada hasil masih dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi *error* sebesar 3°C .Gambar 8 adalah gambar keluaran respon sistem.



Gambar 8. Grafik respon sistem pada set point 40°C

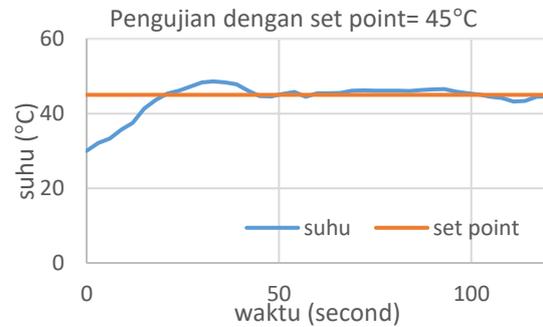
Dari gambar 8 hasil pengujian pada *set point* 40 °C dengan nilai Kp sebesar 15 dan Kd sebesar 5 sudah sesuai dengan *set point*, dengan Tr sebesar 21 detik, Tp sebesar 30 detik, dan Mp sebesar 11,24%.

#### 2. Pengujian dengan set point 45 °C

Tabel 5. Pengujian pada set point 45°C

Pengujian	Setpoint (C°)	Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	45	45,6	0,6
Ke-2	45	44,5	0,5
Ke-3	45	45,4	0,4
	$\Sigma$ Error		1,5
	Error rata rata		0,5

Tabel 5 merupakan hasil pengujian pada set point 45 °C. Hasil pengujian didapatkan hasil suhu air rata-rata yaitu 45,166 °C. Dengan demikian hasil pengujian sedikit melebihi *set point* dengan *error* ± 5% , *error* pada hasil masih dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi *error* sebesar 3°C .Gambar 9 adalah gambar keluaran respon sistem.



Gambar 9. Gambar respon sistem pada set point 45°C

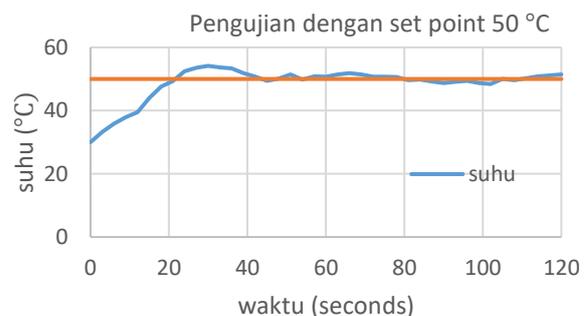
Dari gambar 9 hasil pengujian pada *set point* 45 °C dengan nilai Kp sebesar 15 dan Kd sebesar 5 sudah sesuai dengan *set point*, dengan Tr sebesar 23 detik, Tp sebesar 33 detik, dan Mp sebesar 7,33%.

#### 3. Pengujian dengan set point 50 °C

Tabel 6. Pengujian pada set point 50°C

Pengujian	Setpoint (°C)	Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	50	49,6	0,6
Ke-2	50	50,9	0,9
Ke-3	50	48,8	1,2
	$\Sigma$ Error		2,7
	Error rata-rata		0,9

Tabel 6 merupakan hasil pengujian pada set point 50 °C. Hasil pengujian didapatkan hasil suhu air rata-rata yaitu 49,766 °C. Dengan demikian hasil pengujian sedikit melebihi *set point* dengan *error* ± 9% , *error* pada hasil masih dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi *error* sebesar 3°C .Gambar 10 adalah gambar keluaran respon sistem.



Gambar 10. Gambar respon sistem pada set point 50°C

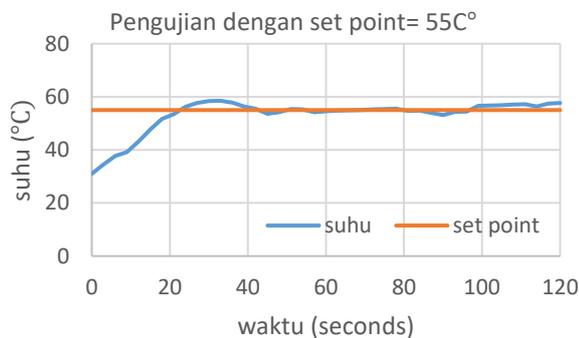
Dari gambar 10 hasil pengujian pada *set point* 50 °C dengan nilai  $K_p$  sebesar 15 dan  $K_d$  sebesar 5 sudah sesuai dengan *set point*, dengan  $T_r$  sebesar 23 detik,  $T_p$  sebesar 31 detik, dan  $M_p$  sebesar 9,6%.

**4. Pengujian dengan set point 55 °C**

**Tabel 7. Pengujian pada set point 55°C**

Pengujian	Setpoint (°C)	Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	55	54,7	0,7
Ke-2	55	55,6	0,6
Ke-3	55	53,4	1,6
	$\Sigma Error$		0,6
	Error rata-rata		0,96

Tabel 7 merupakan hasil pengujian pada set point 55 °C. Hasil pengujian didapatkan hasil suhu air rata-rata yaitu 54,566 °C. Dengan demikian hasil pengujian sedikit melebihi *set point* dengan *error* ± 9,66% , *error* pada hasil masih dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi *error* sebesar 3°C .Gambar 11 adalah gambar keluaran respon sistem.



**Gambar 11. Gambar respon sistem pada set point 55°C**

Dari gambar 11 hasil pengujian pada *set point* 55 °C dengan nilai  $K_p$  sebesar 15 dan  $K_d$  sebesar 5 sudah sesuai dengan *set point*, dengan  $T_r$  sebesar 24 detik,  $T_p$  sebesar 33 detik, dan  $M_p$  sebesar 5,81%.

**4. Kesimpulan**

Pada penalaan controller PID dengan metode trial and error diperoleh gain terbaik dengan gain tersebut adalah  $K_p = 15$   $K_i = 0$   $K_d = 5$ . Pada pengujian aplikasi alat pengaturan suhu cairan pada pemanas air dengan kontroler PID, metode kontrol mempunyai peranan penting dalam proses pengaturan suhu cairan, dari hasil percobaan dengan variasi set point didapat pada set point sebesar 40 °C memiliki rata-rata *error* sebesar 0,8 °C, pada set point sebesar 45 °C memiliki rata-rata *error* sebesar 0,5 , pada set point sebesar 50°C memiliki *error* sebesar 0,9 °C, pada set point sebesar 55 °C memiliki *error* sebesar 0,96 °C. Hal dikarenakan kurang presisian pembacaan sensor LM35 menyebabkan suhu sedikit berbeda dengan suhu aktualnya. Sistem pada proses telah mampu berfungsi dengan baik dengan tingkat keberhasilan 90%.Sistem yang dibuat sudah mampu digunakan untuk mengatur suhu cairan dari rentang suhu antara 40 °C sampai 55 °C .

**Referensi**

- [1]. rumahdiy.com “Pemamas Air”.
- [2]. waterheaterwika.co.id “Water Heater”
- [3]. Ramavatar Singh, “PLC Based PID Implementation In Process Control of Temperature and Level”, Intenational Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (Ijaret), Vol 6, January 2015.
- [4]. Ogata, Katsuhiko, “Teknik Kontrol Automatik Jilid 1”, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [5]. Setiawan, Iwan, Kontrol PID untuk Proses Industri, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [6]. atmel.com “ATmega16 Data Sheet”.
- [7]. national.com “LM35 Datasheet”.
- [8]. digiware.com. “Float Level Switch Data Sheet”.
- [9]. alldatasheet.com “Motor Servo”.
- [10]. Liquid Crystal Display Module M1632 : User Manual, Seiko Instrument Inc., Japan, 1987.
- [11]. Rachmad, Lutfi Nur , " Pengendalian Tekanan Dengan Kendali PID Pada Sistem Pembuat VCO Yang Terautomatisasi Berbasis Atmega 8535", Skripsi S-I, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [12]. Hamzah, M Abie, " Perancangan Plant Alat Pembuat Sirup Buah Otomatis Dengan Kontrol PI Sebagai Pengendali Suhu Cairan Berbasis Atmega16", Skripsi S-I, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [13]. T. Sutojo, dkk, “Kecerdasan Buatan”, ANDI, Yogyakarta, 2011.
- [14]. ]Setiawan, Iwan, “Perancangan Sistem Embedded Berbasis Statechart: Studi Kasus Pada Line Follower Mobile Robot”, <http://iwan.blog.undip.ac.id>. Juni 2009