

PERANCANGAN *PLANT* PENCAMPUR AIR OTOMATIS MENGGUNAKAN PENALAN PARAMETER *PID* DENGAN LOGIKA *FUZZY* UNTUK PENGATURAN SUHU CAIRAN BERBASIS ATMEGA 16

Charlie Alexander Panjaitan^{*)}, Budi Setiyono, and Sumardi

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

^{*)}E-mail: Charlie.Panjaitan93@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 air menjadi lebih praktis sehingga dapat mengatur suhu air lebih mudah. Otomatisasi alat ini meliputi penepatan suhu air yang ingin digunakan sebagai set point sehingga air panas yang keluar dari air keran sudah sesuai dengan suhu air yang diinginkan tanpa perlu mencampurkan dengan air dingin lagi. Metode kontrol yang digunakan dalam pencampuran air adalah penalaan parameter *PID* dengan logika *fuzzy*. Dalam proses pencampurannya digunakan air panas sekitar 70°C dan air biasa pada suhu normal sekitar 30°C. Hasil pengujian diperoleh bahwa pengaturan suhu air dengan cara pencampuran menggunakan penalaan parameter *PID* dengan logika *fuzzy* menghasilkan *rise time* dan *settling time* yang kecil serta tidak terdapat nilai *overshoot* dengan batas toleransi yakni 3%.

Kata kunci: Pemanas air, PID, kontrol logika fuzzy

Abstract

The water heater nowadays 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 today demand that heating system 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* parameter tuning with fuzzy logic. In the process of mixing used hot water with temperature of around 70°C and normal water with normal temperature of around 30°C. The test results showed that the temperature control of water by mixing using *PID* parameter tuning with fuzzy logic techniques produces a system's response that have small rise time and settling time and the maximum overshoot value is still within the tolerance limit of 3%.

Keywords: water heater, PID, fuzzy logic control

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari pada saat ini hampir semua orang membutuhkan air panas sebagai salah satu kebutuhan mereka. Air panas ini biasa digunakan untuk mandi, mencuci, merendam atau pemakaian lainnya. Air panas ini di maksudkan pula 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 termodinamik, memanfaatkan sumber energi untuk memanaskan air yang

hendak dialirkan sesuai temperatur yang telah diset sebelumnya [2].

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

Ada dua sistem pemanas air yang sekarang banyak digunakan, yaitu pemanas air tenaga panas matahari dan alat pemanas air konvensional. 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 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. 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.

Pada penelitian ini akan dibuat implementasi menggunakan *Tuning Parameter* PID dengan *fuzzy Logic* 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. Keluaran dari kendali *fuzzy* yang dihasilkan akan digunakan sebagai nilai parameter K_p , K_i , dan K_d . Kendali PID ini diharapkan dapat menghasilkan respon sistem yang ideal dengan *rise time* dan *settling time* yang kecil serta nilai *maksimum overshoot* yang masih dalam batas toleransi.

2. Metode

2.1. Pengendalian PID

Pengendalian PID adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendalian proporsional, integral, dan derivative. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendalian PID dapat dirumuskan sebagai berikut [4].

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

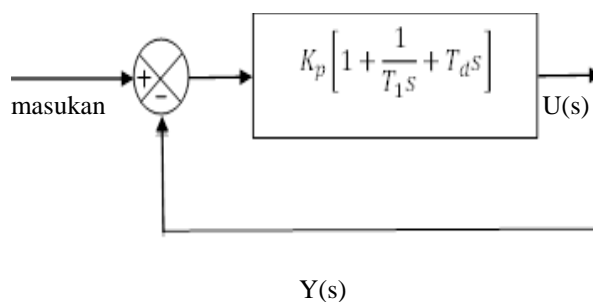
Dengan,

- $u(t)$ = 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.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2)$$

Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram blok pengendali PID

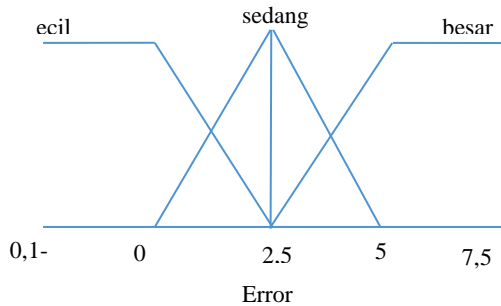
Realisasi kontrol PID digital akan ditemukan dalam sistem berbasis mikroprosesor. Sistem kontrol PID digital bekerja dalam basis waktu diskrit, sehingga persamaan matematis waktu diskrit diperlukan untuk aplikasi kontrol PID kedalam sistem mikroprosesor. Dari persamaan (1), kontrol PID ideal dalam kawasan diskrit yang ditanam dalam kawasan mikroprosesor memiliki bentuk seperti persamaan (3).

$$CO(k) = CO_p(k) + CO_i(k) + CO_d(k) \quad (3)$$

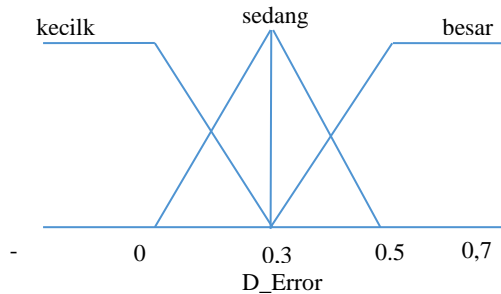
2.2 Perancangan Pengendalian Fuzzy-PID

Program kendali Fuzzy terdiri atas Fuzzifikasi, evaluasi aturan, mekanisme pengambilan keputusan, dan defuzzifikasi. Dimana pada Penelitian ini menggunakan dua buah himpunan keanggotaan masukan fuzzy yaitu

berupa error dan delta error. Fungsi keanggotaan error dan d_error ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Himpunan masukan keanggotaan error



Gambar 3. Himpunan masukan keanggotaan d_error

Proses berikutnya adalah proses penentuan basis aturan fuzzy. Basis aturan fuzzy inilah yang menentukan nilai konstanta parameter kendali PID.. Sembilan aturan yang digunakan terlihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Metode pengambilan keputusan (inferensi) yang digunakan dalam pemrograman ini adalah metode Max-Min. Setelah semua aturan fuzzy dieksekusi, dilakukan proses agregasi dengan mengambil nilai maksimal dari masing-masing fungsi keanggotaan variabel keluaran.

Tabel 1. Basis Aturan tuning PID dengan logika Fuzzy untuk konstanta Kp

	D_error	K	S	B
Error				
	K	L	M	H
	S	L	M	H
	B	H	H	H

Tabel 2 Basis Aturan tuning PID dengan logika Fuzzy untuk konstanta Ki

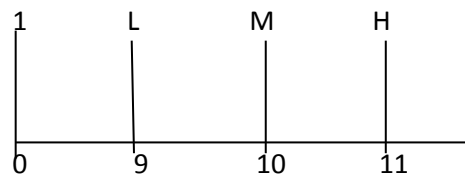
	D_error	K	S	B
Error				
	K	L	L	L
	S	M	M	M
	B	H	H	H

Tabel 3 Basis Aturan tuning PID dengan logika Fuzzy untuk konstanta Kd

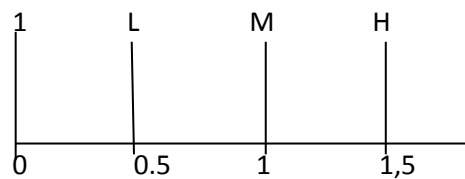
	D_error	K	S	B
Error				
	K	M	L	L
	S	L	M	M
	B	M	H	H

Proses terakhir adalah proses defuzzifikasi yang merupakan proses perubahan nilai keluaran fuzzy menjadi nilai keluaran tegas (crisp). Pada perancangan logika fuzzy ini nilai konstanta yang digunakan untuk konstanta parameter Kp sebesar H=11; M=10; L=9, konstanta parameter Ki sebesar H=1,5; M=1; L=0,5, dan konstanta Kd sebesar H=2; M=1,5; L=1. Terlihat pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 merupakan himpunan keanggotaan keluaran fuzzy untuk parameter kendali Kp, parameter kendali Ki dan parameter kendali Kd.

Nilai tegas (crisp) keluaran diperoleh dari himpunan-himpunan Fuzzy keluaran dengan menggunakan metode rata-rata terbobot.



Gambar 4 . Himpunan keanggotaan keluaran Kp

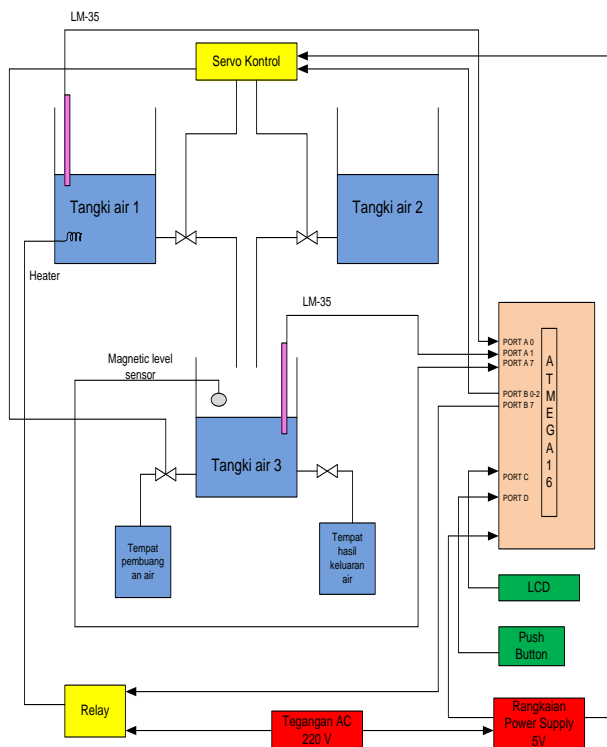


Gambar 5 . Himpunan keanggotaan keluaran Ki



Gambar 6. Himpunan keanggotaan keluaran Kd

2.4 Perancangan Hardware



Gambar 7. Rancangan perangkat keras alat pencampur air

Perancangan *plant* terdiri dari beberapa komponen utama diantaranya 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 jarak LM-35 difungsikan sebagai sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi suhu air pada tangki.
5. Sensor magnetic level digunakan sebagai pendeteksi ketinggian level air
6. Motor servo sebagai aktuator yang digunakan untuk 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.

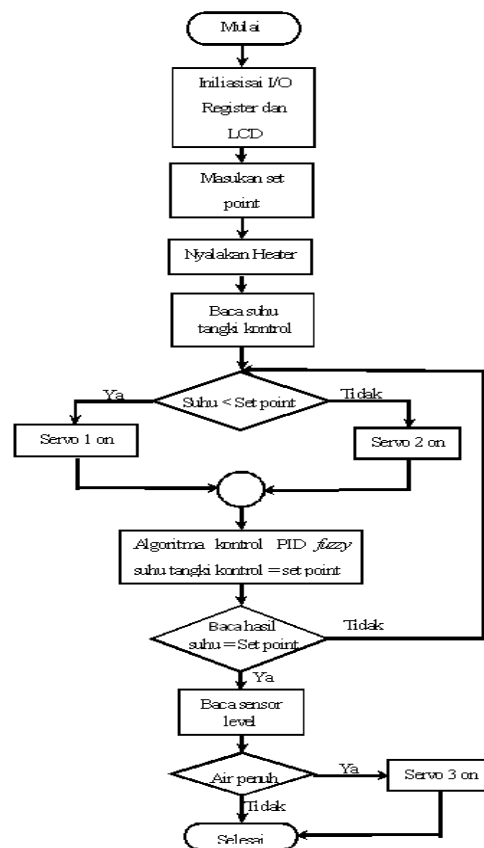
2.5 Perancangan Software

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 mikrokontroler ATmega16 ini terdiri atas :

1. Perancangan program utama
2. Perancangan Inisialisasi I/O data variable
3. Program pengambilan data ADC (sensor suhu LM35)
4. Program tampilan LCD
5. Program pengendalian *Fuzzy-PID*
6. Program pengendalian valve



Gambar 8. Diagram aliran *plant* pencampur air

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Sensor Suhu LM35

Pengujian Sensor LM35 dilakukan dengan membandingkan suhu aktual yang terbaca oleh sensor dengan suhu aktual yang terbaca oleh termometer analog. Hasil pengukuran dan pembacaan sensor dapat dilihat pada Tabel 4

Dari data tabel 4 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.

Tabel 4 . Perbandingan suhu pembacaan termometer dengan pembacaan sensor LM35

No	Suhu (°C)	Termometer	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

3.2 Pengujian PID Terhadap Sistem

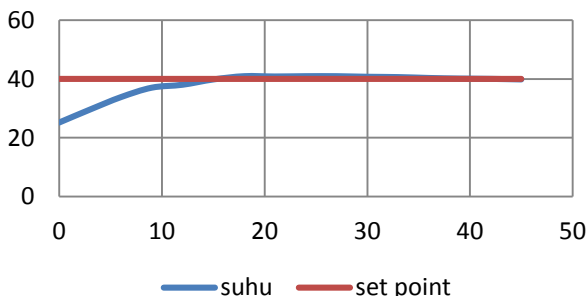
Pada pengujian ini dilakukan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan. Hal ini dilakukan untuk menganalisa, apakah sistem sudah bekerja dengan baik atau belum. Dalam pengujian ini dilakukan dengan menganalisa respon hasil pengontrolan dengan gain PID yang diberikan terhadap plant. Dari hasil analisa ini, akan menghasilkan tuning parameter gain PID yang terbaik untuk sistem yang telah dirancang.

1. Pengaruh Kontroller Kp=10

Dari gambar Pada pengujian sistem ini, digunakan kontroller dengan nilai Kp = 10 atau yang memberikan sinyal co merupakan error yang terjadi antara pv dengan setpoint.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa respon sistem tersebut nilai aktual masih terjadi error diatas dari set point yang diberikan. Dengan demikian, dibutuhkan penalaan gain PID untuk memperbaiki respon sistem dari Gambar 9.

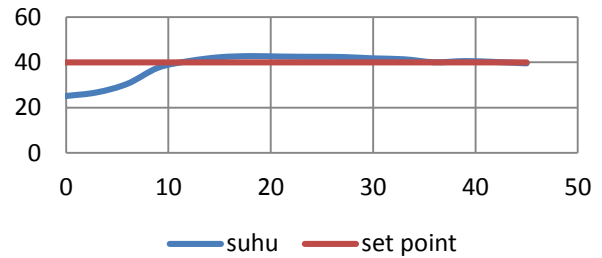
Kp=10



Gambar 9. Grafik respon dengan Kp=10

2. Pengaruh Kp=10 dan Ki=2

Kp 10 Kd 2



Gambar 10. Grafik respon dengan Kp=10 dan Kd=2

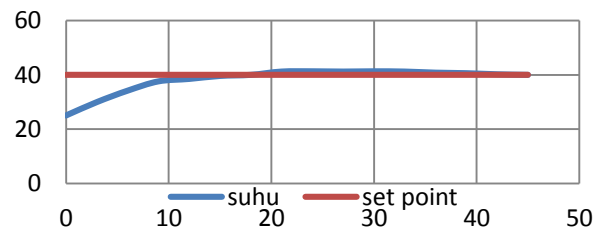
Pada pengujian sistem ini, digunakan kontroller dengan nilai Kp = 10, dan Kd = 2 atau yang memberikan sinyal co merupakan error yang terjadi antara nilai aktual dengan set point. Pengujian dilakukan dengan memberikan set point sebesar 40°C.

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa sistem yang dihasilkan dengan menambahkan nilai Kd = 2 dapat dikatakan masih buruk. Karena dari respon sistem tersebut nilai aktual masih terdapat error dari set point yang diberikan. Dengan demikian, dibutuhkan penalaan gain PID untuk memperbaiki respon sistem dari Gambar 4.7.

3. Pengaruh Kp=10, Ki=1, Kd=2

Pada pengujian sistem ini, digunakan kontroller dengan nilai Kp = 10, Ki = 1, dan Kd = 2 atau yang memberikan sinyal co merupakan error yang terjadi antara pv dengan set point. Dari hasil sebelumnya, maka dilakukan pengujian dengan parameter gain Kp = 10, Ki = 1, dan Kd = 2 terhadap sistem. Pengujian dilakukan dengan memberikan set point sebesar 40°C. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 11.

Kp=10 Ki=1 Kd=2



Gambar 11. Grafik respon sistem dengan Kp, Ki, dan Kd=2

Berdasarkan hasil respon yang telah ditampilkan dalam Gambar 9 – Gambar 11. Diperoleh kesimpulan hasil terbaik ada pada gain PID dengan parameter Kp = 10, Ki

= 1, dan Kd = 2. Respon yang diperoleh adalah sistem respon overshoot kecil dan tanpa error steady state serta suhu sesuai dengan *set point* sehingga sistem dapat berjalan lebih stabil. Hasil dari penalaan PID ini akan digunakan dalam fungsi himpunan keluaran pada *fuzzy*.

3.3 Pengujian Hasil

Pada pengujian ini akan dilakukan pengujian hasil proses dengan beberapa variasi suhu set point. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh metode kontrol fuzzy tuning PID dan konsistensi suhu keluaran air panas pada alat pengatur suhu cairan ini. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan set point sebesar 40, 45, 50 dengan pengulangan masing-masing set point sebanyak 3 kali.

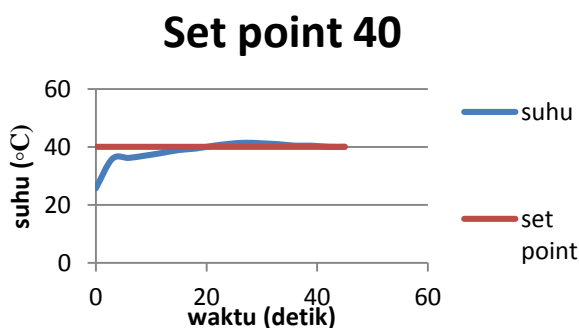
1. Pengujian dengan set point 40 °C

Tabel 5 merupakan hasil pengujian pada set point 40 °C. Hasil pengujian didapatkan hasil suhu air rata-rata yaitu 40,066 °C. Dengan demikian hasil pengujian sedikit melebihi *set point* dengan rata rata *error* ± 0,16% , *error* pada hasil masih dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi *error* sebesar 3%. Gambar 4.10 adalah gambar keluaran respon sistem

Dari gambar 12 hasil pengujian pada *set point* 40 °C dengan nilai sudah sesuai dengan *set point*, dengan Tr sebesar 20 detik, Tp sebesar 28 detik, dan Mp sebesar 4%. Dari tabel 5 dan gambar 12 dapat disimpulkan metode kontrol fuzzy tuning PID mempunyai peranan penting pada sistem.

Tabel 5. Pengujian pada set point 40°C

Pengujian	Setpoint (°C)	Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	40	40,2	0,2
Ke-2	40	40	0
Ke-3	40	40	0
	Σ Error		0,2
	Error rata-rata		0,066



Gambar 12 Gambar respon sistem pada set point 40 °C

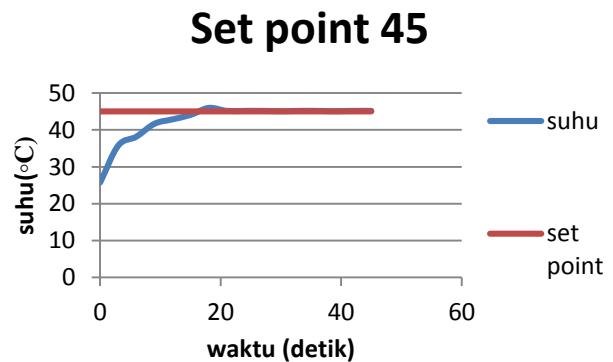
2. Pengujian dengan set point 45°C

Tabel 6 merupakan hasil pengujian pada set point 45 °C. Hasil pengujian didapatkan hasil suhu air rata-rata yaitu 45,066 °C. Dengan demikian hasil pengujian sedikit melebihi *set point* dengan *error* ± 0,14% , *error* pada hasil masih dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi *error* sebesar 3%. Gambar 13 adalah gambar keluaran respon sistem.

Dari Gambar 13 hasil pengujian pada *set point* 45 °C dan Kd sebesar 5 sudah sesuai dengan *set point*, dengan Tr sebesar 17 detik, Tp sebesar 19 detik, dan Mp sebesar 2,2%. Dari Tabel 6 dan Gambar 13 dapat disimpulkan metode kontrol *fuzzy tuning* PID mempunyai peranan penting pada sistem.

Tabel 6. Pengujian pada set point 45°C

Pengujian	Setpoint (C°)	Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	45	45,1	0,1
Ke-2	45	45	0
Ke-3	45	45,1	0,1
	Σ error		0,2
	Error rata rata		0,066



Gambar 13. Gambar respon sistem pada set point 45 °C

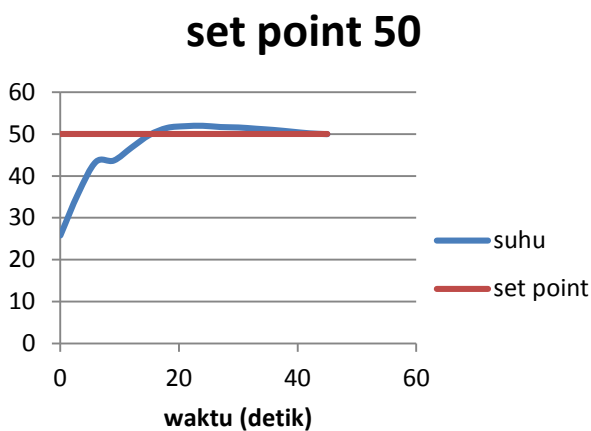
3. Pengujian dengan set point 50 °C

Tabel 7 merupakan hasil pengujian pada set point 50°C. Hasil pengujian didapatkan hasil suhu air rata-rata yaitu 50,133 °C. Dengan demikian hasil pengujian sedikit melebihi *set point* dengan *error* ± 0,167% , *error* pada hasil masih dapat diterima karena tidak melebihi batas toleransi *error* sebesar 3%. Gambar 4.15 adalah gambar keluaran respon sistem.

Dari gambar 14 hasil pengujian pada set point 50 °C dengan nilai Kp sebesar 10 Ki sebesar 1 dan Kd sebesar 2 sudah sesuai dengan set point, dengan Tr sebesar 16 detik, Tp sebesar 22 detik, dan Mp sebesar 6%. Dari tabel 7 dan gambar 14 dapat disimpulkan metode kontrol *fuzzy tuning* PID mempunyai peranan penting dalam sistem.

Tabel 7. Pengujian pada set point 50°C

Pengujian	Setpoint (°C)	Pengujian (°C)	Error (°C)
Ke-1	50	50,1	0,1
Ke-2	50	50,1	0,1
Ke-3	50	50,2	0,2
Σ error			0,4
Error rata-rata			0,133



Gambar 14. Gambar respon sistem pada set point 50 °C

4. Kesimpulan

Sudah dibuat plant pencampur air untuk pengatur suhu cairan dengan kontrol PID dengan rata-rata kesalahan (error) pembacaan sensor suhu sebesar 0,31 pada sensor pertama dan 0,32 pada sensor kedua. Nilai konstanta logika fuzzy yang digunakan untuk *tuning* parameter kendali PID yaitu konstanta parameter Kp (H=11; M=10; L=9), konstanta parameter Ki (H=1,5; M=1; L=0.5), dan konstanta Kd (H=2; M=1,5;L=1).

Untuk penelitian selanjutnya, dapat digunakan metode kontrol lain, seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST), algoritma genetik atau Linear Quadratic Regulator (LQR) pada plant pencampur air untuk pengatur suhu cairan.

Referensi

- [1] ---, <http://rumahdiy.com/informasi/mengetahui-jenis-jenis-alat-pemanas-air-untuk-kamar-mandi>, Februari 2009
- [2] ---, <http://waterheaterwika.blogspot.co.id/2012/07/jenis-jenis-water-heater.html>, November 2010
- [3] Nour M.I.H, Ooi J, Chan K.Y., 2007. "Fuzzy logic control vs. conventional PID control of an inverted pendulum robot". ICIAS International Conference on Intelligent and Advanced Systems. 2007: 209-214.
- [4] Ogata, Katsuhiko. "Teknik Kontrol Automatic Jilid 1", diterjemahkan oleh Edi Leksono. Erlangga. Jakarta. 1994.
- [5] Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, PT. Elex Media Komputindo. Jakarta. 2008.
- [6] -----, ATmega16 Data Sheet, <http://www.atmel.com>, diakses Maret 2014
- [7] Sutojo, T, dkk, "Kecerdasan Buatan". ANDI. Yogyakarta. 2011.
- [8] ---, Float Level Switch Data Sheet, <http://www.digiware.com>, Februari 2012.
- [9] -----, LM35 Datasheet, <http://www.national.com>, diakses April 2014.
- [10] -----, Motor Servo, <http://achyarnur.blogspot.com/2013/07/servo-motor-bagian-1-pengenalan-dan.html>, April, 2014.
- [11] Liquid Crystal Display Module M1632 : User Manual, Seiko Instrument Inc., Japan, 1987.
- [12] Ramadan, Setiawan, "Perancangan Plant Alat Pembuat Sari Buah Otomatis Menggunakan Kontrol Fuzzy Untuk Pengaturan Suhu Cairan Berbasis ATMEGA16", Skripsi S-1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [13] Huaguang Zhang, Derong Liu, "Fuzzy Modelling and Fuzzy Control", Birkhauser, Boston, USA, 2006.
- [14] Jun Yan, Michael Ryan and James Power, "Using Fuzzy Logic", Prentice Hall, New York, 1994.