

# APLIKASI FUZZY LOGIC UNTUK TUNING PARAMETER KONTROL PID PADA PENGATURAN SUHU CAIRAN SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Rohmat Hidayat<sup>\*)</sup>, Budi Setiyono, and Sumardi

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

<sup>\*)E-mail : rohmat.hidayat11@gmail.com</sup>

## Abstrak

Heat Exchanger merupakan komponen penting yang digunakan dalam dunia industri seperti perminyakan, pembangkit tenaga listrik, pengolahan limbah, petrokimia, dan lain-lain. Di industri, kontrol yang banyak digunakan untuk mengendalikan suhu pada plant heat exchanger adalah kontrol PID. Kontrol PID membutuhkan parameter yang tepat untuk menghasilkan kinerja yang optimal. Pada tugas akhir ini digunakan kendali fuzzy logic untuk menala parameter  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$ . Kendali fuzzy PID diharapkan mampu menghasilkan respon sistem yang cepat dan stabil. Pengendalian suhu pada plant ini dilakukan dengan cara mengatur jumlah aliran air panas yang masuk ke heat exchanger. Pengaturan jumlah aliran ini dilakukan dengan mengendalikan besar kecilnya posisi kran yang digerakkan oleh motor servo. Pengendali fuzzy PID ditanamkan pada mikrokontroler ATmega16. Perubahan suhu dideteksi dengan menggunakan sensor LM35. Pada pengujian sistem dengan referensi tetap  $T_r$  (waktu naik) sebesar 2660 detik dan  $T_s$  sebesar 3110 detik. Pada pengujian dengan setting point naik, respon sistem mampu mengikuti kenaikan setting point. Pengujian referensi naik dihasilkan respon dengan  $T_r$  900 detik dan  $T_s$  sebesar 1160 detik. Pengujian dengan penurunan set point sistem menghasilkan respon dengan  $T_r$  620 detik dan  $T_s$  1260 detik. Sistem diberikan gangguan berupa menurunkan suhu fluida proses dan gangguan masukan fluida proses ke heat exchanger. Pengujian dengan gangguan penurunan suhu fluida proses,  $T_r$  900 detik dan  $T_s$  sebesar  $T_s$  4600 detik. Pengujian dengan gangguan inlet fluida proses, menghasilkan  $T_r$  1000 s dan  $T_r$  sebesar 4500 s. Dengan demikian perancangan kontrol PID fuzzy yang dilakukan dapat menghasilkan respon yang baik dan stabil dan dapat menanggapi adanya gangguan.

*Kata kunci : Suhu, Heat Exchanger, PID, Fuzzy Logic, Mikrokontroler ATmega16*

## Abstract

Heat exchanger is an important component used in industries such as petroleum, power generation, waste treatment, petrochemicals, and others. In industry, controller which widely used to control the temperature of heat exchanger is PID control. PID requires the appropriate parameters to obtain the optimal performance of heat exchanger. In this final project, fuzzy logic was used to tune  $K_p$ ,  $T_i$  and  $T_d$  parameters. The Fuzzy PID control is expected can produce the rapid and stable system responses. The temperature control on this plant was done by regulating the amount of hot water flow that toward heat exchanger. Controlling the amount of fluid was done by adjusting the valve position that was driven by the servo motor. The PID fuzzy controller was embedded in the ATmega16 microcontroller. Temperature changes were detected by using LM35 sensor. In testing the system with a fixed reference  $T_r$  (rise time) of 2660 seconds and 3110 seconds of  $T_s$ . In the increasing setting point test, the response system was able to keep up with the setting point. The response test generated  $T_r$  900 seconds and  $T_s$  1160 seconds. The system test with the decreasing set point generated a response with  $T_r$  620 seconds and  $T_s$  1260 seconds. The system were given disturbances such as dropping the temperature of the process fluid and the input noise to the process fluid heat exchanger. Testing with the process fluid temperature decrease, resulted in  $T_r$  900 seconds and  $T_s$  4600 s. The system testing with the process fluid inlet disturbances generated  $T_r$  1000 s and  $T_s$  4500 s. Therefore, the design of fuzzy PID control which shows good and stable response and could respond the disturbances.

*Key words : Temperature, Heat Exchanger, PID, Fuzzy, Microcontroller ATmega16*

## 1. Pendahuluan

Industri yang bergerak diberbagai bidang seperti gas, minyak, makanan, kimia, pembangkit listrik tidak lepas

dari kontrol proses. Sistem kontrol proses tersebut terdiri dari berbagai macam *plant* kontrol proses. Salah satunya adalah *plant heat exchanger*. Penggunaan *heat exchanger* pada industri antara lain memproduksi uap (*steam*) pada

pembangkit listrik, pasteurisasi pada susu dan makanan kaleng pada industri makanan, sistem reaktor nuklir, dan di bidang *cryogenics* untuk pemisahan gas suhu rendah. *Heat exchanger* adalah komponen utama pada bidang pemanasan, *ventilating*, *air conditioning* dan pendinginan (*refrigeration*)<sup>[1]</sup>. Pada tugas akhir ini merujuk pada tipe *shell-and-tube heat exchanger*.

Pada industri yang menggunakan plant *heat exchanger* tentunya dibutuhkan sistem kendali yang baik dan handal. Berdasarkan beberapa survey yang ada dapat diketahui bahwa sebagian besar dalam kenyataannya, 97% industri kontrol proses menggunakan kendali PID sebagai pengendali utama (sumber: Honeywell, 2000).

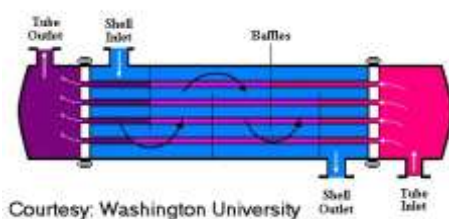
Pada tugas akhir ini akan dibuat implementasi kendali *fuzzy* PID pada pengaturan suhu air *plant heat exchanger*, dimana menggunakan mikrokontroler ATmega16 sebagai perangkat keras pengendalinya. Dengan logika *fuzzy* maka akan didapatkan parameter PID, yaitu  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  secara otomatis. Masukan dari kendali *fuzzy* ini adalah *error* dan perubahan nilai *error* sistem. Dengan menggunakan *fuzzy logic* ini akan dihasilkan parameter PID yang sesuai dengan nilai *error*-nya. Parameter yang dihasilkan oleh kendali *fuzzy* akan digunakan kendali PID untuk menghasilkan sinyal kendali untuk menggerakkan motor servo. Kendali *fuzzy* PID ini diharapkan menghasilkan respon ideal dengan *rise time* ( $T_r$ ) kecil dan *settling time* ( $T_s$ ) yang kecil.

## 2. Metode

### 2.1. Shell and Tube Heat Exchanger

*Heat exchanger* adalah alat yang berfungsi untuk melakukan penukaran energi kalor dari satu fluida ke fluida lain tanpa mencampur kedua fluida tersebut. Beberapa tipe *heat exchanger* meliputi *shell and tube heat exchanger*, *double pipe heat exchanger*, *plate type heat exchanger* and *spiral tube heat exchanger*<sup>[1]</sup>.

Salah satu tipe *heat exchanger* adalah *shell and tube heat exchanger* yang banyak digunakan pada industri perminyakan. Konstruksi dari tipe ini dapat dilihat pada gambar 2. Dimana konstruksinya terdiri dari satu tabung yang berukuran besar, kemudian terdapat berkas pipa-pipa dengan diameter kecil yang berada di dalam tabung tersebut<sup>[2]</sup>.



Gambar 1. Konstruksi *shell and tube heat exchanger*<sup>[3]</sup>

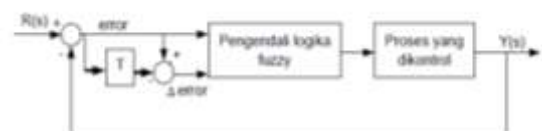
### 2.2 Kontrol Suhu Heat Exchanger

Terdapat dua komponen penting dalam kontrol proses *heat exchanger* adalah *controlled variable* dan *manipulated variable*. *Controlled variable* adalah variabel yang dikontrol agar sesuai dengan *set point* dan *manipulated variable* adalah variabel yang diubah-ubah untuk menjaga variabel yang dikontrol sesuai dengan *set point*. Pada *heat exchanger* variabel yang dikontrol adalah aliran air panas yang masuk ke HE, dan variabel yang diubah-ubah adalah valve yang mengalirkan fluida panas.

*Shell and tube heat exchanger* mempunyai karakter non linier, *time varying* dan *time lag*. Dengan menggunakan kontrol konvensional PID tidak dapat menemukan kepresisian pada *range* yang luas untuk kontrol suhu. Maka digunakan kombinasi antara PID dan *fuzzy* untuk meningkatkan performansi kerja *shell and tube heat exchanger*<sup>[4]</sup>. Kendali *fuzzy* banyak digunakan untuk menala parameter PID sesuai dengan nilai *error* yang dihasilkan. Penalaan parameter PID ini yang dihasilkan dapat tergantung dari 3 keadaan. Parameter P tergantung pada *error* saat ini, parameter I tergantung dari *error* sebelumnya dan D tergantung dari *error* sedudahnya<sup>[5][6]</sup>. Pada dasarnya kontrol *fuzzy* digunakan karena lebih mudah dalam perancangannya dikarenakan tidak membutuhkan pemodelan sistem hanya menghubungkan antara *input* dan *output*. Sistem ini biasanya disebut dengan sistem *black box*. Sistem yang cocok untuk menggantikan sistem *black box* tersebut adalah seperti sistem *fuzzy*, linier, sistem jaringan saraf tiruan, dan masih banyak lagi<sup>[7]</sup>.

### 2.3 Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* merupakan salah satu metode kontrol yang merupakan bagian dari kontrol *Artificial Inteligent* (AI). Istilah *fuzzy* ini pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A Zadeh pada bulan Juli 1964. Gambar 2 menunjukkan struktur kontrol *fuzzy* dengan menggunakan dua masukan yaitu *error* dan  $\Delta error$ . Pengendali *fuzzy* meliputi empat bagian utama yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambilan keputusan dan defuzzifikasi. Dimana strukturnya dapat dilihat pada Gambar 3.

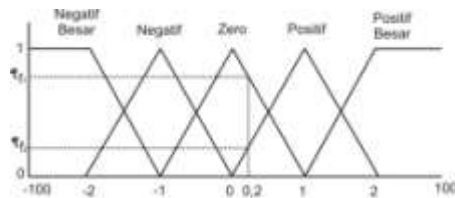


Gambar 2 Struktur kontrol *fuzzy*.

Fuzzifikasi merupakan sebuah proses dalam kendali *fuzzy* yang berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ke dalam himpunan *fuzzy* menjadi nilai *fuzzy* dari bebrapa variabel linguistik masukan.

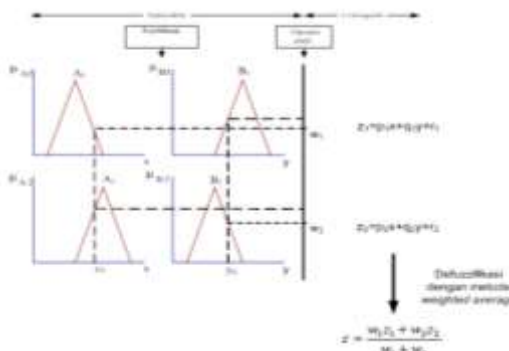


Gambar 3 Struktur dasar penegndali fuzzy



Gambar 4 Proes fuzzifikasi

Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan. Basis data mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas ruang-ruang masukan dan keluaran. Basis aturan berisi aturan-aturan kendali *fuzzy* yang digunakan untuk pengendalian proses. Aturan yang ditetapkan digunakan untuk menghubungkan antara variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Aturan ini berbentuk „JIKA – MAKA“ (*IF – THEN*), sebagai contoh adalah : JIKA  $x$  adalah A1 DAN  $y$  adalah B1 MAKA  $z$  adalah C1<sup>[8][9]</sup>.

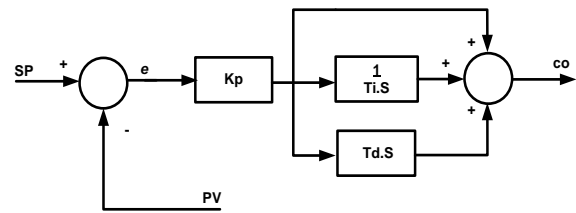


Gambar 5 Proses pengambilan keputusan metode sugeno<sup>[10]</sup>

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran Fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaan untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Gambar 5 menunjukkan proses pengambilan keputusan metode sugeno.

## 2.4 Kontrol Proporsional, Integral, dan Derivatif (PID)

Kontrol PID merupakan gabungan dari tiga macam metode kontroler, yaitu pengontrol proporsional (*Proportional Controller*), pengontrol integral (*Integral Controller*), dan pengontrol turunan (*Derivative Controller*).



Gambar 6 Struktur kontrol PID ideal bentuk dependent.

Gambar 6 menunjukkan struktur kontrol PID ideal. Struktur kontrol PID ideal merupakan struktur kontrol PID yang umum dijumpai.

Persamaan (2.1) memperlihatkan bentuk umum dari kontrol PID ideal tersebut dalam bentuk kontinu.

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

Aksi kontrol PID ideal bentuk *dependent* dalam kawasan sistem diskret dapat dituliskan pada bentuk persamaan (4) sebagai berikut<sup>[11]</sup>:

$$CO(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot T_c \cdot \sum_{i=0}^k (e(i)) + K_d \cdot \frac{(e(k) - e(k-1))}{T_c} \quad (2)$$

## 2.5 Servo Valve

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor, serangkaian gear, potensiometer dan rangkaian kontrol

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya. Motor servo ini dikopel dengan *valve* sehingga dapat mengatur besarnya posisi terbuka *valve*.

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

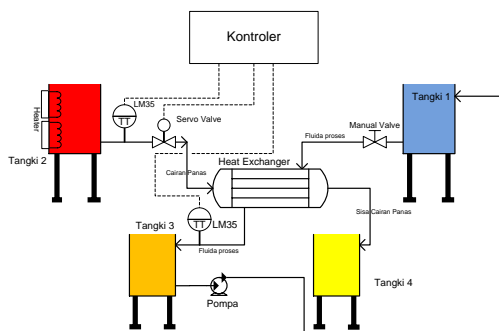
Perancangan perangkat keras sistem pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Penjelasan dari masing-masing blok sistem pengendali suhu cairan pada Gambar 7 adalah sebagai berikut :

1. Sensor LM35 merupakan sensor yang akan mendeteksi kenaikan suhu pada tangki. Keluaran sensor ini berupa tegangan analog. Terdapat dua

sensor LM35 yaitu pada tangki 1 untuk kendali relay, dan LM35 pada *plant heat exchanger*.

2. Motor Servo DC yang digunakan untuk menggerakkan kran (*valve*) dengan sumber 5 V DC.
3. Sebuah pemanas (*heater*) dengan daya 300 watt dengan sumber tegangan ac (bolak-balik) yang berfungsi sebagai pemanas pada tangki 1.
4. *Push Button* berfungsi sebagai masukan untuk mengatur *set point* suhu cairan dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
5. LCD (*Liquid Crystal Display*) dan *driver* LCD berfungsi sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung.
6. Relay berguna sebagai pengontrol tegangan AC untuk mengendalikan pompa dan *heater*.
7. Pompa hanya berfungsi menyalurkan cairan yang akan sisa pemanasan ke tangki sumber air panas.
8. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem keseluruhan.
9. Mikrokontroler AVR ATmega16 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengatur suhu cairan *heat exchanger*. Mikrokontroler ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C *embedded*.
10. Personal komputer sebagai unit monitoring yang akan menampilkan data suhu aktual cairan berupa grafik respon sistem. Grafik ini selanjutnya dapat digunakan untuk keperluan analisis.



Gambar 7 Diagram blok perancangan perangkat keras.

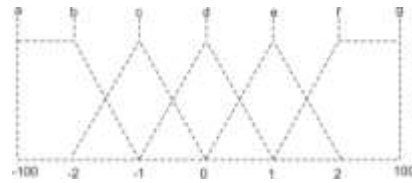
### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Kontrol *fuzzy* logic untuk tuning parameter PID diaplikasikan untuk mengontrol suhu cairan pada *heat exchanger*. Proses kontrol *fuzzy* adalah sebagai berikut:

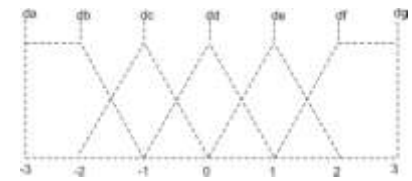
#### A. Fuzzifikasi

Pada tahap ini diawali dengan menentukan parameter-parameter fungsi keanggotaan setiap himpunan Fuzzy.

Dimana pada tugas akhir ini menggunakan dua himpunan fuzzy masukkan yaitu *error* dan  $\Delta error$ .



Gambar 8 Perancangan keanggotaan *error*



Gambar 9 perancangan keanggotaan perubahan *error*

#### B. Evaluasi Aturan

Evaluasi aturan adalah proses mengevaluasi derajat keanggotaan tiap-tiap fungsi keanggotaan himpunan Fuzzy masukan ke dalam basis aturan yang telah ditetapkan. Keluaran Fuzzy akan menentukan nilai konstanta PID.

Tabel 1 Perancangan aturan *fuzzy* keluaran  $K_p$

Error $\Delta error$	NB	N	Z	P	PB
Delta error					
NB	K	K	K	B	B
N	K	K	K	S	B
Z	K	K	K	B	SB
P	K	K	K	B	SB
PB	K	K	K	SB	BS

Tabel 2 Perancangan aturan *fuzzy* keluaran  $T_i$

Error $\Delta error$	NB	N	Z	P	PB
Delta error					
NB	K	K	K	S	B
N	K	K	K	S	B
Z	K	K	K	S	S
P	K	K	K	S	B
PB	K	K	K	B	B

Tabel 3 Perancangan aturan *fuzzy* keluaran  $T_d$

Error $\Delta error$	NB	N	Z	P	PB
Delta error					
NB	K	K	K	B	B
N	K	K	K	B	B
Z	K	K	K	B	B
P	K	K	K	B	B
PB	K	K	K	B	B

NB	BS	BS	S	K	K
N	BS	BS	S	K	K
Z	BS	SB	K	K	K
P	BS	SB	K	K	K
PB	BS	SB	S	K	K

Keterangan: BS = Besar Sekali    SB = Sedang Besar  
 S = Sedang                            B = Besar  
 K = Kecil

**C. Defuzzifikasi**

Defuzzifikasi adalah proses perubahan nilai keluaran fuzzy menjadi keluaran tegas (*Crisp*). Pada keluaran fuzzy, dirancang fungsi keanggotaannya berupa *singleton*. Untuk keluaran Kp, nilai K=0, S=5, B=10, SB=50, dan BS=100. Keluaran Ti, K=0, S=2, B=5, SB=7 dan BS=10. Dan untuk keluaran Td dirancang K=0, S=5, B=10, SB=20, dan BS=30.

**3.3 Pengujian Sensor Suhu LM35**

Pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor LM35 dengan termometer.

Tabel 4 Perbandingan sensor LM35 dan termometer

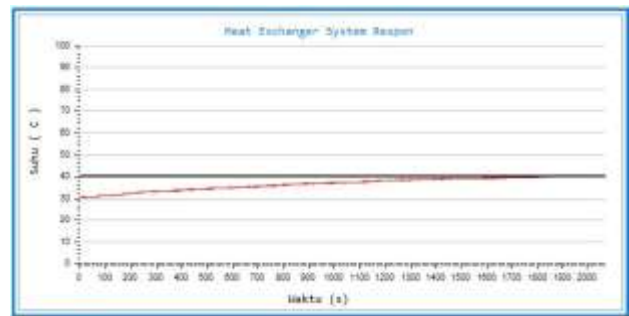
No	Termometer	Sensor	Error	Rata-rata error
1	40,6	40,7	0,1	0,10
	40,5	40,6	0,1	
	40,4	40,5	0,1	
2	39,6	39,8	0,2	0,23
	39,5	39,7	0,2	
	39,4	39,7	0,3	
3	38,6	38,7	0,1	0,10
	38,5	38,6	0,1	
	38,4	38,5	0,1	
4	37,6	37,8	0,2	0,13
	37,5	37,5	0,0	
	37,4	37,6	0,2	
5	36,6	36,6	0,0	0,03
	36,5	36,6	0,1	
	36,4	36,4	0,0	
6	35,6	35,6	0,0	0,03
	35,5	35,6	0,1	
	35,4	35,4	0,0	
7	34,6	34,6	0,0	0,03
	34,5	34,6	0,1	
	34,4	34,4	0,0	
8	33,6	33,6	0,0	0,03

9	33,5	33,5	0,0	0,07
	33,4	33,5	0,1	
	32,6	32,7	0,1	
10	32,5	32,5	0,0	0,03
	32,4	32,5	0,1	
	31,6	31,7	0,1	
Rata-rata error total			0,08	

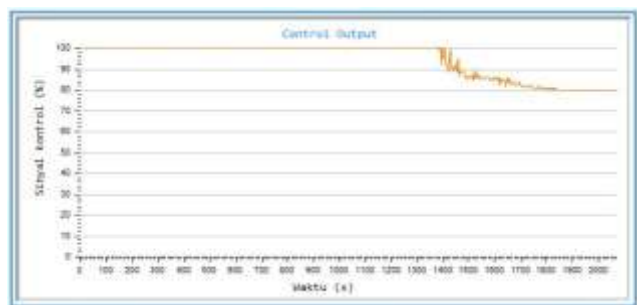
Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa pembacaan sensor LM35 memiliki rata-rata error total sebesar 0,08°C.

**3.4 Pengujian Sistem dengan Referensi Tetap**

Pengujian referensi tetap adalah pengujian yang menggunakan masukan tetap yaitu 40 °C. Suhu awal cairan yang ada dalam *heat exchanger* adalah 31°C.



Gambar 11 Respon sistem metode Fuzzy PID dengan referensi tetap

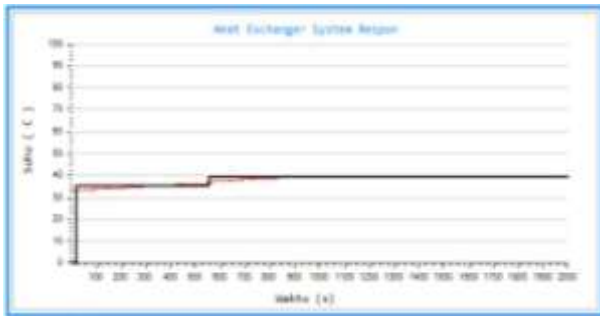


Gambar 12 Sinyal kontrol metode Fuzzy PID dengan referensi tetap

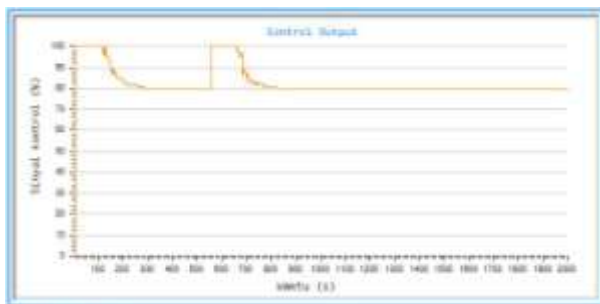
Pada pengujian ini kendali fuzzy untuk tuning parameter PID dapat menghasilkan sinyal kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik juga. Pada respon ini sistem menghasilkan Tr (waktu naik) sebesar 1400 detik dan Ts sebesar 1500 detik. Respon yang dihasilkan tidak terdapat overshoot. Sistem mulai stabil dari detik ke 1500 sampai akhir pengujian sistem.

### 3.5 Pengujian Sistem dengan Referensi Naik

Berikut ini adalah hasil pengujian sistem dengan menggunakan *set point* sebesar 36 °C kemudian dinaikkan menjadi 39°C. Pada pengujian ini sistem dapat mencapai keadaan stabil sampai keadaan akhir pengujian.



Gambar 13 Respon sistem metode *Fuzzy* PID dengan referensi naik



Gambar 14 Sinyal kontrol metode *Fuzzy* PID dengan referensi naik

Pada respon ini kendali *fuzzy* untuk *tuning* parameter PID dapat menghasilkan kontrol yang baik sehingga dapat menghasilkan respon yang baik juga. Pada *set point* 34 °C didapatkan *Tr* sebesar 280 detik dan *Ts* sebesar 300 detik. Kemudian *set point* dinaikkan menjadi 37°C. Pada respon ini sistem menghasilkan *Tr* (waktu naik) sebesar 700 detik dan *Ts* sebesar 800 detik. Sistem dapat mempertahankan kestabilan sampai akhir pengujian sistem. Pada pengujian ini didapatkan *overshoot*. Nilai *Overshoot* (%OS) ini dapat dinyatakan dalam %. %OS dapat dihitung menggunakan persamaan<sup>[12]</sup>:

$$\%OS = \frac{C_{max} - C_{reff}}{C_{reff}} \times 100\% \quad (3)$$

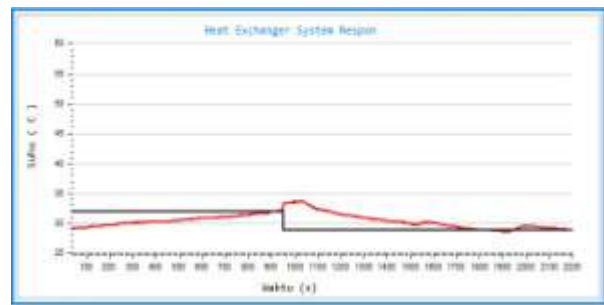
dimana :  $C_{max}$  = Nilai puncak maksimal

$C_{reff}$  = Nilai referensi

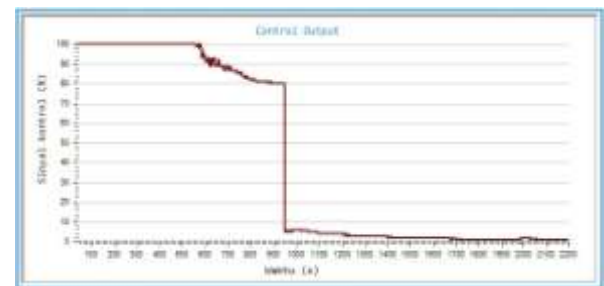
Pengujian dengan sistem referensi naik ini menghasilkan *overshoot* sebesar 1,38%.

### 3.6 Pengujian Sistem dengan Referensi Turun

Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan *set point* pada suhu 32°C kemudian menurunkan menjadi 29°C



Gambar 15 Respon sistem metode *Fuzzy* PID dengan referensi turun



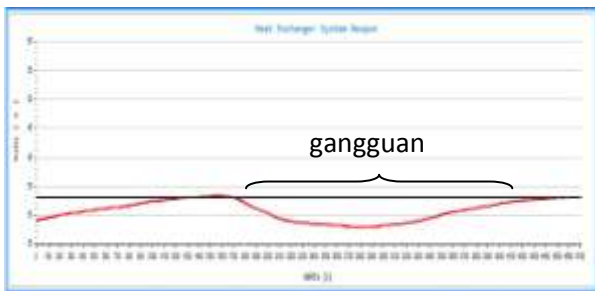
Gambar 16 Sinyal kontrol metode *Fuzzy* PID dengan referensi turun

Pada respon ini kendali *fuzzy* untuk *tuning* parameter PID dapat mengikuti perubahan *set point* yang diberikan pada sistem. Pada *set point* awal yaitu 32 °C menghasilkan respon dengan *Tr* (waktu naik) sebesar 680 detik dan *Ts* sebesar 940 detik. Setelah mencapai keadaan stabil, *set point* diturunkan menjadi 29 °C. Setelah sistem diturunkan dan mencapai nilai 29°C, terdapat *overshoot* dan nilai *error steady state* sebesar 0,8°C kemudian sistem kembali stabil pada detik ke 1260. Pada pengujian ini sistem mengalami *overshoot*. Dengan menggunakan persamaan (4.1) diperoleh nilai %OS sebesar -1,37%. Nilai *overshoot* bertanda *minus* karena sistem menuju perubahan ke *input* yang lebih kecil. Pada saat perubahan *set point* sistem tidak langsung mengikuti tetapi mengalami kenaikan selama beberapa detik dikarenakan masih ada sisa perpindahan panas yang dihasilkan *plant shell ant tube heat exchanger*.

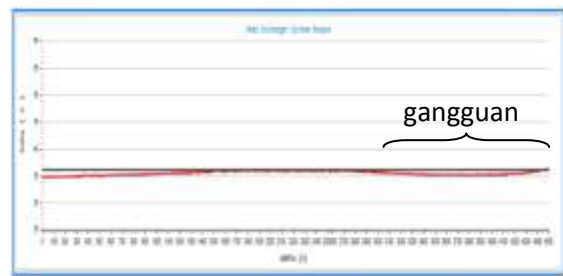
### 3.7 Pengujian Kontrol PID terhadap Gangguan

#### A. Pengujian Sistem terhadap Gangguan pada Sumber Fluida Proses

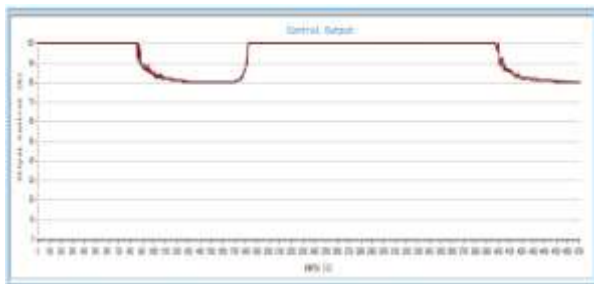
Pada tahap ini, sistem pengendalian suhu pada *plant heat exchanger* diuji dengan gangguan. Gangguan yang dimaksud dalam pengujian ini adalah memasukkan bongkahan es seberat setengah kilogram ke dalam sumber fluida proses (tangki 1) pada Gambar 3.1.



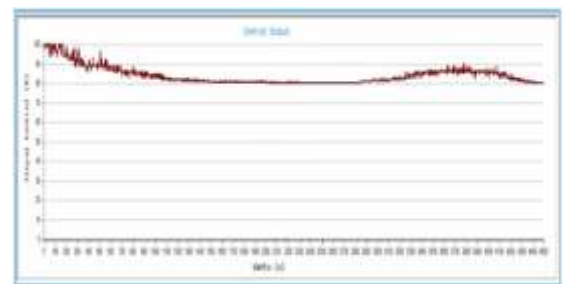
Gambar 17 Respon sistem metode *Fuzzy* PID terhadap gangguan es pada sumber fluida proses



Gambar 19 Respon sistem metode *Fuzzy* PID terhadap gangguan aliran inlet



Gambar 18 Sinyal kontrol metode *Fuzzy* PID terhadap gangguan es pada sumber fluida proses



Gambar 20 Respon sistem metode *Fuzzy* PID terhadap gangguan aliran inlet

Pada pengujian ini sistem diberikan *set point* sebesar  $33^{\circ}\text{C}$  dimana suhu awalnya adalah  $29^{\circ}\text{C}$  dimana ketika sistem telah stabil, sistem diberikan gangguan. Gangguan ini diberikan untuk mengetahui kinerja sistem terhadap menangani gangguan yang ada pada sistem pengendalian suhu ini. Pada pengujian ini dihasilkan respon sistem dengan  $T_r$  sebesar 900 detik, dan  $T_s$  sebesar 1400 detik. Dengan cara yang sama pada persamaan (4.1), pada pengujian ini juga menghasilkan *overshoot* sebesar 1,21%. Setelah itu sistem diberikan gangguan, sistem mengalami *error steady state* sebesar  $5^{\circ}\text{C}$  kemudian sistem akan kembali stabil pada detik ke 4600. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kontrol *fuzzy* PID dapat merespon gangguan yang ada

#### B. Pengujian Sistem terhadap Gangguan pada Aliran Inlet (Masukan)

Gangguan pada tahap ini adalah merubah aliran *inlet* (masukan) dari tangki 1 pada Gambar 3.1 yang menuju *heat exchanger*. Gangguan ini berupa mengubah posisi *valve* dari posisi terbuka setengah menjadi terbuka penuh. *Set point* yang digunakan yaitu tetap  $37^{\circ}\text{C}$ .

Pada gambar diatas merupakan respon dari pengujian dengan gangguan *inlet*. Dimana dapat diperoleh respon dengan  $T_r$  sebesar 1000 detik dan  $T_s$  sebesar 1800 detik. Setelah keadaan stabil, *valve* dibuka penuh kemudian terjadi penurunan suhu sistem, dimana dihasilkan nilai *error steady state* sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  dan kembali stabil pada detik ke 4500. Dari respon diatas, dapat disimpulkan bahwa pengendali merespon adanya gangguan perubahan jumlah aliran yang masuk ke dalam *heat exchanger*.

Gangguan yang diberikan berdampak kecil terhadap sistem, dikarenakan secara keseluruhan sistem mengalir dengan kecepatan aliran yang rendah karena hanya mengandalkan ketinggian dalam mengalirkannya.

#### 4. Kesimpulan

Kendali *fuzzy logic* yang digunakan untuk menala parameter PID dapat menghasilkan parameter PID yang sesuai dengan *error* sistem, dimana parameter PID ini dapat menghasilkan sinyal kontrol dan respon sistem yang cepat dan stabil. Nilai *overshoot* yang didapatkan di beberapa pengujian, yaitu pada pengujian dengan referensi naik, referensi turun, dan pengujian dengan gangguan fluida proses masih berada dalam batas toleransi. Pemberian gangguan pada sistem berupa penurunan suhu fluida proses dan gangguan perubahan *inlet* HE dapat ditanggapi dengan baik oleh kontroler dimana respon yang mengalami *error steady state* dapat kembali mencapai keadaan stabil. Pembacaan sensor pada sistem pengendalian suhu pada *plant shell and tube heat exchanger* berfungsi secara akurat karena hanya

menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,08°C. Agar dapat memperoleh respon sistem yang lebih baik lagi, maka dapat dicoba dengan perancangan *membership functions* yang lebih baik lagi agar parameter yang dihasilkan yang lebih tepat dan menambahkan kendali level pada sumber masukan fluida proses (tangki 1) sehingga debit air yang masuk ke dalam *heat exchanger* tetap. Selain itu pengendalian suhu ini dapat dikembangkan dengan kendali yang lebih baik seperti kendali *cascade*.

## Referensi

- [1]. H. K. Al-tae, *Comparative Study of Temperature Control in a Heat Exchanger Process* Afraa Hilal Kamel Al-Tae, Thesis Department of Chemic Engineering of the University of Technlogy, 2011.
- [2]. Wafi .B, Ahmad, dkk, *Rancang Bangun Heat Exchanger Shell and Tube Single Phase*, Skripsi D-III Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [3]. Haselgo, Chris , *Specifying A Liquid-Liquid Heat Exchanger* , (Online), (<http://www.cheresources.com/content/articles/heat-transfer/specifying-a-liquid-liquid-heat-exchanger>, diakses pada 19 Januari 2013).
- [4]. Sivakumar, P. “Temperature Control of Shell and Tube Heat Exchanger by Using Intelligent Controllers- Case Study”, *International Journal Of Computational Engineering Research (ijceronline.com) Vol. 2 Issue. 8 pp. (285)*, Institute of technology Anna University, 2012.
- [5]. Thomas E. Marlin, “Process Control Designing Processes and Control Systems for Dynamic I Performance”, McGrawHill Higher Education, 2000, pp. 49-69, pp. 909-913.
- [6]. Trikha, Manish , ”Heat Exchanger System Controlled by Fuzzy Self-adapting PID Controller”, MIT International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering, Vol. 2, No. 1, Jan. 2012, pp. (31-36), Moradabad Institute of Technology, 2012.
- [7]. Kusumadewi, Sri dan Purnomo, Hari. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004.
- [8]. Permadi, Indra, *Pengendalian Temperature Pada Plant Electric Furnace Menggunakan Sensor Thermocouple Dengan Metode Fuzzy*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2012.
- [9]. Rindho S, Prestian, *Tuning Parameter Proposional-Integral dengan Fuzzy Logic untuk Pengaturan Suhu Air pada Plant Heat Exchanger*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2011.
- [10]. Sutojo, T, dkk, *Kecerdasan Buatan*, ANDI, Yogyakarta, 2011.
- [11]. Maharani, Aldea Steffi, *Aplikasi Kontrol PID untuk Pengendalian Ketinggian Level Cairan Dengan Menggunakan TCP/IP*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2011.
- [12]. H.L Tigor, Eduward, *Tuning Parameter Proportional-Integral dengan FL (Fuzzy Logic) untuk Pengaturan Level Air Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535*, Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2010