

PERANCANGAN KONTROLER *SELF TUNING FUZZY PI* UNTUK PENGENDALIAN KETINGGIAN AIR DAN TEMPERATUR UAP PADA *STEAM DRUM BOILER*

Andre Pardomuan^{*)}, Aris Triwiyatno, dan Budi Setiyono

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

^{*)}E-mail: *andrepardo20@gmail.com*

Abstrak

Boiler merupakan peralatan utama yang diperlukan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Steam drum adalah suatu alat pada boiler yang berfungsi menampung air dari feedwater system dalam pembuatan uap yang temperturnya cukup tinggi dan memisahkan fluida antara fase gas dan fase cair. Variabel yang dianalisa adalah ketinggian air dan temperatur uap. Pada Tugas Akhir ini dilakukan penelitian tentang penggunaan kontroler Self Tuning Fuzzy PI pada pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada steam drum boiler. Sifat dari kontroler Self Tuning Fuzzy PI mampu mengadaptasi parameter P dan I pada kontroler konvensional PI sehingga mampu bekerja secara optimal walaupun terjadi gangguan pada sistem ketinggian air dan temperatur uap. Hasil simulasi didapatkan dengan kontroler Self Tuning Fuzzy PI pada ketinggian air dapat mengurangi overshoot sebesar 3,4% dan mengurangi IAE sebesar 55,8% sedangkan pada sistem temperatur uap mempercepat time rise dan settling time 0,6 dan 7,6 menit, menghilangkan overshoot dan mengurangi IAE lebih dari 50%. Kontroler Self Tuning Fuzzy PI juga mampu mengadaptasi gangguan yang terjadi secara tiba – tiba pada sistem dan dapat bekerja dengan variasi penurunan setpoint pada sistem.

Kata kunci: Steam drum boiler, Kontroler Self Tuning Fuzzy PI, Sstem ketinggian air , Sistem temperatur uap

Abstract

Boiler is the main equipment required in the system of Steam Power (power plant). Steam drum is a device on the boiler that serves to accommodate the water from the feedwater system in the produce of steam temperature is high enough and separating fluid between the gas phase and liquid phase. The variables analyzed were the water level and temperature of the steam. In this final project carried out research on the use of Self Tuning Fuzzy PI controller on control of water level and temperature of the steam in the steam boiler drum. The charateristic of Self Tuning Fuzzy PI controller is able to adapt the parameters P and I in PI conventional controllers so it can work optimally despite an disturbance in the system water level and temperature of the steam. The simulation results obtained with Self Tuning Fuzzy PI controller at a height of water can reduce the overshoot of 3.4% and reduced IAE by 55.8% while the steam temperature systems increase the rise time and settling time of 0.6 and 7.6 minutes, eliminating overshoot and reduces IAE more than 50%. Self Tuning Fuzzy PI controller is also able to adapt disturbance that occurs suddenly - arrived on the system and can work with a decrease setpoint variation on the system.

Keywords: Steam drum boiler, Self Tuning Fuzzy PI Controller, Water Level system, Steam Temperature system

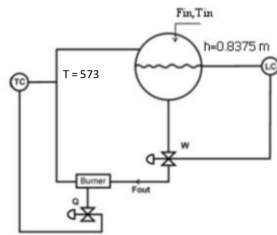
1. Pendahuluan

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan (*feed water system*), sistem steam (*steam system*) dan sistem bahan bakar (*fuel system*). Sistem air umpan (*feed water system*) menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam.[1].

- *Steam Drum* adalah komponen penting untuk jenis boiler secara alamiah, boiler bertekanan, dan boiler dengan gabungan sirkulasi. Fungsi *steam drum boiler* adalah mencampur air yang masuk ke dalam drum (*feedwater*) dengan air yang tersirkulasi dalam boiler, menyediakan air untuk dihantarkan ke komponen penguap (*evaporator*) melalui pipa aliran turun (*downcomer*), Menerima campuran air/uap panas (steam) yang berasal dari pipa aliran naik (*riser*), dan memisahkan air dan uap panas. Ketinggian air pada *steam drum* adalah hal yang penting dan sulit untuk diukur dan dikendalikan. Suatu kendali

ketinggian air dalam *drum* yang tepat sangat diperlukan. Ketinggian air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan air terbawa masuk ke dalam pipa uap panas (*steam tube*). Di sisi lain, ketinggian air yang terlalu rendah dapat menyebabkan air di dalam drum tidak dapat mendinginkan pipa pembakaran (*furnace*) yang berpotensi menimbulkan kerusakan.[2]

Pengendali-pengendali ketinggian *steam drum* sudah digunakan sejak periode yang sangat lama dan kriteria performanya dipengaruhi oleh batasan yang bervariasi terhadap sistem kendali, dinamika proses dan desain struktur mekanik.[3] Rentang fluktuasi ketinggian air dan aliran air pemasok dapat dikurangi secara efektif oleh kendali PID konvensional dengan prinsip pengaturan sistem yang tepat. Hal tersebut dapat mempresentasikan karakteristik respon yang cepat dan *overshoot* yang kecil.[4] Performa sistem dapat ditingkatkan dengan menggunakan logika *fuzzy* untuk memberikan hasil yang ditentukan untuk sistem. Kendali *fuzzy* secara terbimbing membentuk titik hasil untuk kontrol konvensional menggunakan strategi kendali logika *fuzzy*. [5]



Gambar 1. Sistem *Steam Drum Boiler*[3]

Model matematika dari gambar diatas adalah[6]:

$$F_{out} = k w \sqrt{h} \tag{1}$$

$$Ah \frac{dT}{dt} = F_{in}(T_{in} - T) + \frac{Q}{\rho c_p} \tag{2}$$

Dengan $F_{out} = k w \sqrt{h}$ $Q = GVC q$ $\tag{3}$

$$Q = GVC q \tag{4}$$

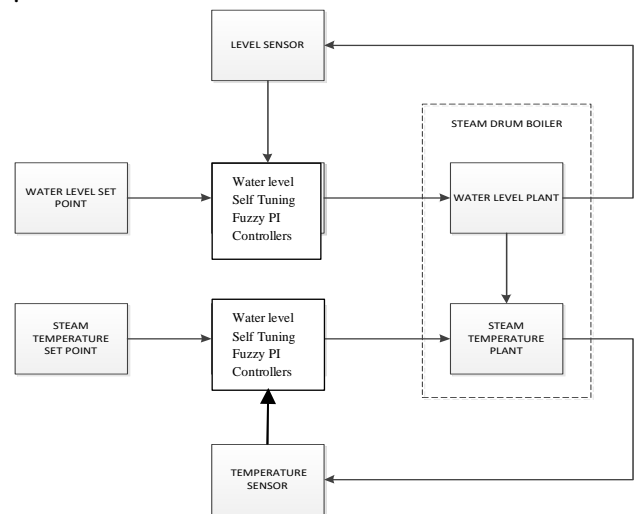
- F_{in} : Flow air yang masuk (m^3 /menit)
- F_{out} : Flow air yang keluar (m^3 /menit)
- T : Temperatur uap (K)
- T_{in} : Temperatur air yang masuk (K)
- Q : Heat output burner (Joule/menit)
- V : Volume air (m^3)
- A : Luas *steam drum boiler* (m^2)
- h : Ketinggian air (m)
- ρ : Massa jenis air (kg/m^3)
- C_p : Kapasitas panas dalam *steam drum* (J/kg K)
- w : control valve flow air (m^2)
- k : koefisien control valve ($m^{1/2}/s$)
- GCV : Gross Caloric of Coal (Joule/Kg)
- q : Jumlah konsumsi bahan bakar (Ton/menit)

Tabel 1. Parameter fisik model[3]

Parameter	Nilai	Satuan
F_{in}	0,25	m^3 /menit
q	200	Kg/menit
K	1	$m^{1/2}/s$
T_{in}	323	Kelvin
Q	Variabel kontrol	KJ/menit
w	Variabel Kontrol	m^2
T	573	Kelvin
P	1000	Kg/ m^3
C_p	79,76	Joule/Kg Kelvin
A	2,02415625	m^2
H	0,8375	meter
GCV	250.000	KJ/Kg

2. Metode

Metode kontrol yang digunakan adalah *Self Tuning Fuzzy PI*, yaitu dengan mengadaptasikan parameter P dan I konvensional. Perancangan sistem secara keseluruhan dibagi menjadi 2 subsistem, yaitu, subsistem plant *steam drum boiler* dan sub sistem kontroler *Self Tuning Fuzzy PI*. Parameter tak terikat dalam sistem ini adalah nilai *setpoint* ketinggian air dan *setpoint* dari temperatur uap, sedangkan variabel terukur adalah sinyal keluaran ketinggian air dan temperatur uap dari plant *steam drum boiler* yang kemudian diumpanbalikan ke masing-masing kontroler



Gambar 2. Skema sistem secara keseluruhan

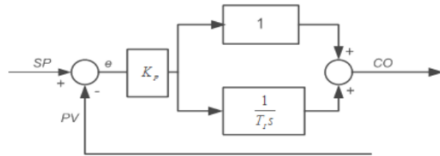
2.1. Kontroler PI

Kontroler proporsional integral biasanya digunakan untuk pengendalian proses yang memiliki dinamika relatif cepat (seperti aliran, tekanan, dan level). Berdasarkan sebuah survei dinyatakan bahwa hampir 80% kontroler PID yang terpasang di industri menggunakan kontrol PI dalam operasinya. Kontroler PI banyak digunakan pada proses di industri karena permasalahan yang terjadi telah dapat diatasi secara maksimal meskipun hanya dengan kontroler PI. Persamaan matematis dari kontroler PI adalah:[6]

$$CO(t) = K_p \cdot [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt] \quad (5)$$

Dalam kawasan Laplace, persamaan 2.18 tersebut dapat direpresentasikan:

$$CO(s) = K_p \cdot [1 + \frac{1}{T_i s}] e(s) \quad (6)$$



Gambar 3. Struktur kontroler PI[6]

Keterangan:

CO = Kontroler Output

Kp = Kontroler Proporsional

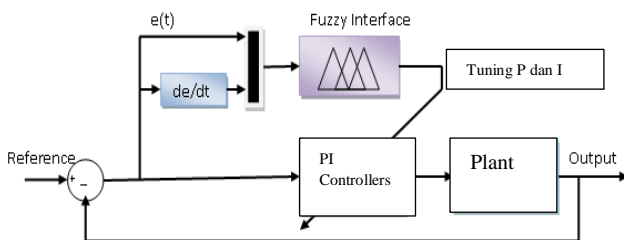
e = Error

Ti = Waktu integral

PV = Process Variable

2.2. Kontroler Self Tuning Fuzzy PI

Kontroler Fuzzy PI berarti ada 2 parameter yaitu Kp dan Ki dan yang di tuning menggunakan logika fuzzy. Koefisien dari kontroler PID konvensional tidak sering mentuning dengan baik untuk sistem nonlinear dengan variasi parameter yang tak terduga. Karena itu, penting untuk melakukan tuning secara otomatis.[8]



Gambar 4. Struktur Kontroler Self Tuning Fuzzy PI[8]

Berdasarkan strukturnya, terdapat dua input untuk fuzzy yaitu error dan perubahan error, dan tiga keluaran dari setiap parameter PID kontroler yaitu Kp', Ki', dan Kd'. Misalkan rentang variabel Kp, Ki, dan Kd adalah [Kp max, Kp min], dan[Ki max, Ki min]. Nilai rentang pendekatan tersebut secara eksperimental dapat didekati dengan persamaan :

$$K_p = K_p \text{ min} + (K_p \text{ max} - K_p \text{ min}) K_p' \quad (7)$$

$$K_i = K_i \text{ min} + (K_i \text{ max} - K_i \text{ min}) K_i' \quad (8)$$

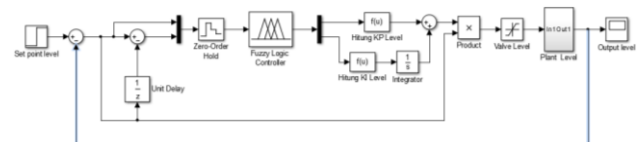
Dengan Kp' dan Ki' adalah nilai keluaran fuzzy yaitu antara 0 sampai 1.

Tabel 2. Fuzzy rule untuk Kp[9]

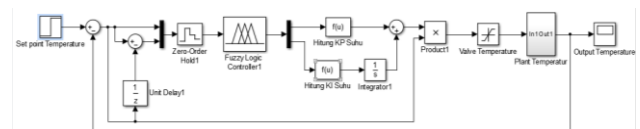
	Error						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZP	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
de/dt ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

Tabel 3. Fuzzy rule untuk Ki[9]

	Error						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NM	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
de/dt ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB



Gambar 5. Perancangan simulink sistem ketinggian air

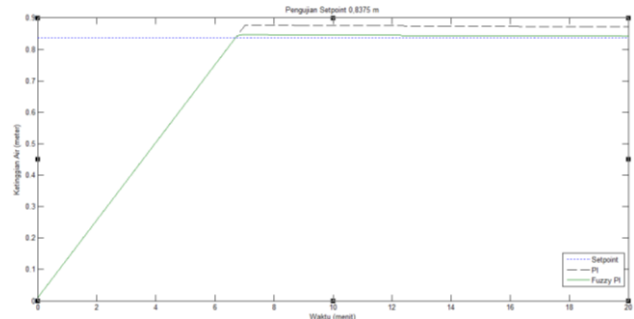


Gambar 6 Perancangan simulink sistem temperatur uap

3. Hasil dan Analisa

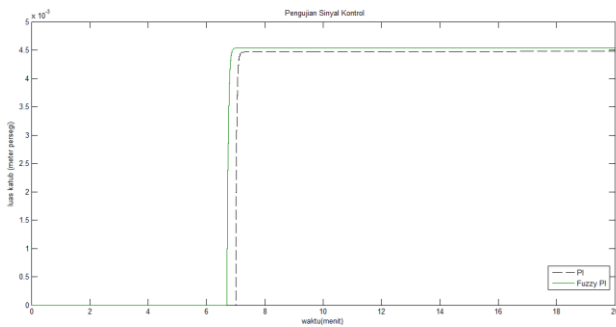
3.1. Hasil dan Analisis Sistem Ketinggian Air

Pengujian terhadap setpoint tanpa gangguan dilakukan dengan memberikan masukan sistem berupa sinyal step dengan nilai setpoint sebesar 0,8375 m. Hasil respon sistem ditampilkan pada Gambar 7(a) dan gambar 7(b).



Gambar 7.(a) Respon ketinggian air steam drum boiler SP = 0,8375 m

Tabel 2. Fuzzy rule untuk Kp[9]



Gambar 7. (b) Respon kontroler terhadap sistem ketinggian air

Pengujian dengan *setpoint* 0,8375 menghasilkan respon ketinggian air dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* dan konvensional *PI* mengalami *rise time* (t_r) yang sama yaitu pada saat 5,438 menit. Hal ini berarti waktu ketinggian air mencapai *set point* yang diinginkan sebesar 5,438 menit. *Settling time* (t_s) pada kontroler konvensional *PI* dan *PI* dengan logika *fuzzy* relatif sama yaitu 6,3 menit. Nilai *overshoot* maksimal pada kontroler konvensional *PI* sebesar 1 % sedangkan *PI* dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* relatif sama yaitu 1,04 % dan 1,006 % dengan nilai *overshoot* dari keluaran kontroler konvensional *PI* 3,4 % lebih besar. Nilai *IAE* pada kontroler *Fuzzy PI* lebih rendah yaitu 2,867 dibanding kontroler konvensional *PI* yaitu 3,425.

Tabel 4. (a) Perbandingan respon sistem pada ketinggian

Respon Sistem	Kontroler Konvensional PI	Kontroler Self Tuning Fuzzy PI
Rise Time (menit)	5,438	5,438
Settling Time (menit)	6,3	6,3
Maximum Overshoot(%)	1,04	1,006
IAE	3,425	2,867

Pengujian terhadap kinerja kontroler dilakukan untuk melihat tindakan kontroler terhadap set point normal 0,8375 m pada sistem ketinggian air. Hasil Keluaran sinyal kontrol ditampilkan pada gambar 7(b).

Tabel 4. (b) Perbandingan respon sinyal kontrol pada ketinggian air

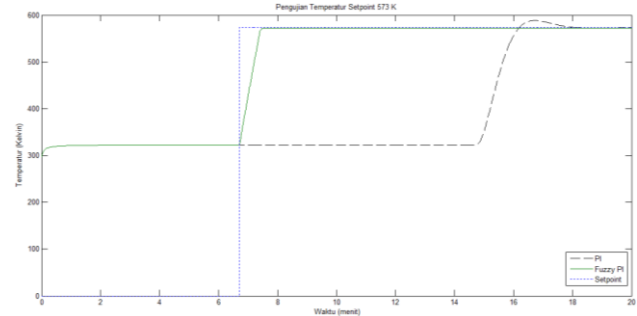
Respon Sinyal Kontrol	PI	Self Tuning Fuzzy PI
	Ketinggian Air	Ketinggian Air
Action time (menit)	7	6,7
Steady state(menit)	7,3	7,1
Energi valve (m^2 /menit)	0,0804	0,0829

Pengujian respon kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki *action* yang lebih cepat yaitu 6,7 menit, sedangkan konvensional *PI* sebesar 7 menit. Terdapat perbedaan waktu *action* kontroler selama 3 menit. Respon kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki waktu *steady* terhadap *action* sebesar 7,1 menit selisih 0,2 menit lebih cepat

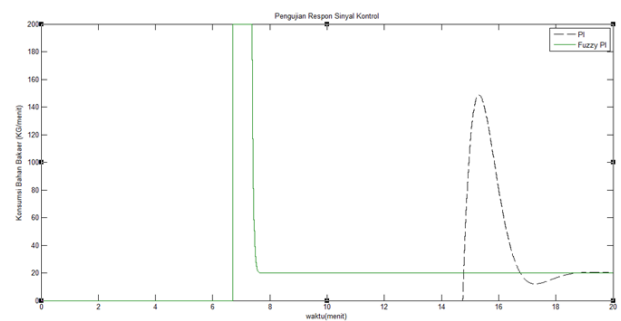
dibanding konvensional *PI* 7,3 menit. Usaha yang dilakukan *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki energi yang lebih besar yaitu 0,0829 m^2 /menit sementara konvensional *PI* sebesar 0,0804 m^2 /menit.

3.2. Hasil dan Analisis Sistem Temperatur Uap

Pengujian terhadap *setpoint* normal dilakukan dengan memberikan masukan sistem berupa sinyal step dengan nilai *setpoint* sebesar 573 K. Hasil respon sistem ditampilkan pada gambar 8(a) dan gambar 8(b)



Gambar 8. (a) Respon temperatur uap steam drum boiler Setpoint 573 K



Gambar 8. (b) Respon kontroler terhadap sistem temperatur

Hasil respon temperatur dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* mengalami *rise time* (t_r) yang lebih cepat yaitu 15,6 menit, sedangkan kontroler konvensional *PI* yaitu 16,2. *Settling time* dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki *settling time* yang lebih cepat yaitu 7,34 menit sedangkan dengan kontroler konvensional *PI* yaitu 15,9 menit. Nilai *overshoot* maksimal pada kontroler konvensional *PI* adalah 1% sedangkan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* tidak memiliki *overshoot*. Nilai *IAE* pada kontroler *Fuzzy PI* lebih rendah yaitu 22.551 dibanding kontroler konvensional *PI* yaitu 43.573.

Tabel 5. (a) Perbandingan respon sistem pada temperatur.

Respon Sistem	Kontroler Konvensional PI	Kontroler Self Tuning Fuzzy PI
Rise Time (menit)	15,7	7,26
Settling Time (menit)	15,9	7,34
Maximum Overshoot(%)	1,04	0
IAE	43.573	22.551

Pengujian terhadap kinerja kontroler dilakukan untuk melihat tindakan kontroler terhadap set point 573 K pada sistem temperatur. Hasil respon sistem ditampilkan pada Gambar 8(b).

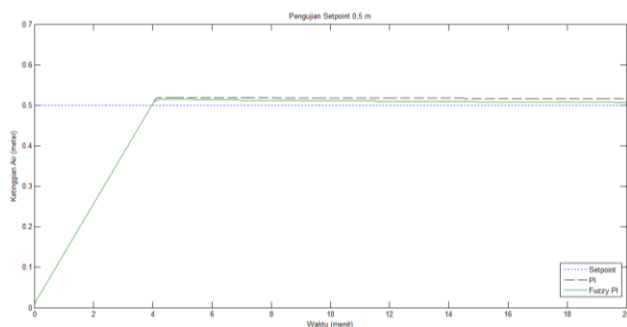
Tabel 5. (b) Perbandingan respon sinyal kontrol pada temperatur uap

Respon Sinyal Kontrol	PI	Self Tuning Fuzzy PI
	Temperatur Uap	Temperatur Uap
Action time (menit)	14,7	6,7
Steady state(meni)	20	7,5
Jumlah bahan bakar (Kg/menit)	332,78	393,42

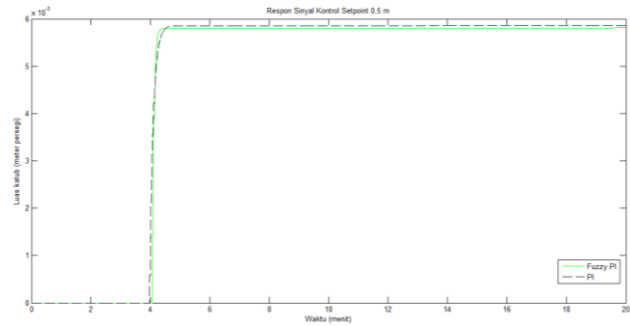
Hasil respon sinyal kontrol kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki *action* yang lebih cepat yaitu 6,7 menit, sedangkan konvensional PI sebesar 14,7 menit. Terdapat perbedaan waktu *action* kontroler sekitar 7 menit. Respon kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki waktu *steady* terhadap *action* sebesar 7,5 menit selisih 12,5 menit lebih cepat dibanding konvensional PI 20 menit. Jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki lebih besar yaitu 491,293(Kg/menit) sementara konvensional PI sebesar 332,78 (Kg/menit).

3.3. Hasil dan Analisa Variasi Setpoint Ketinggian Air

Pengujian terhadap *setpoint* tanpa gangguan dilakukan dengan memberikan masukan sistem berupa sinyal *step* dengan nilai *setpoint* sebesar 0,5 m. Hasil respon sistem ditampilkan pada Gambar 9(a) dan gambar 9(b).



Gambar 9. (a) Pengujian ketinggian air setpoint 0,5 meter



Gambar 9. (b) Pengujian sinyal kontrol ketinggian air setpoint 0,5 meter

Berdasarkan gambar 9(a), dapat diketahui bahwa respon ketinggian air dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* dan konvensional PI mengalami *rise time* (t_r) yang sama yaitu pada saat 3,23 menit. Hal ini berarti waktu ketinggian air mencapai *set point* yang diinginkan sebesar 3,23 menit. *Settling time* (t_s) pada kontroler konvensional PI dan *Self Tuning Fuzzy PI* sama yaitu 3,77 menit. Nilai *overshoot* maksimal pada kontroler konvensional PI sebesar 3,8 % sedangkan dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* relatif sama yaitu 3 %. Nilai IAE pada kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* lebih rendah yaitu 1,36 dibanding kontroler konvensional PI yaitu 1,25.

Tabel 6. (a) Perbandingan respon sistem pada ketinggian 0,5 m

Respon Sistem	Kontroler Konvensional PI	Kontroler Self Tuning Fuzzy PI
Rise Time (menit)	3,23	3,23
Settling Time (menit)	3,77	3,77
Maximum	3,8	3
Overshoot(%)		
IAE	1,25	1,136

Tabel 6. (a) dan menunjukkan perbedaan hasil keluaran dan kinerja dari sinyal kontrol antara kontroler konvensional PI dan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* pada sistem ketinggian air. Secara lebih jelas, perbedaan respon kedua kontroler dijelaskan pada tabel 6(b).

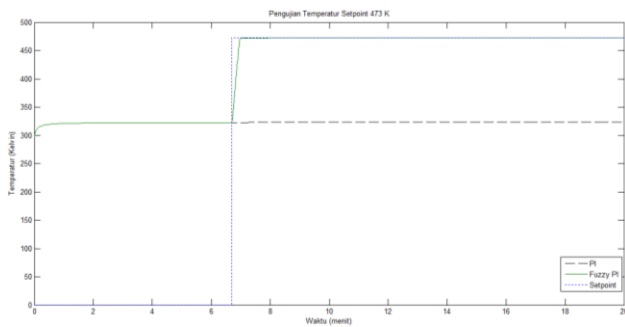
Tabel 6. (b) Perbandingan respon sinyal kontrol pada ketinggian air

Respon sinyal kontrol	PI	Self Tuning Fuzzy PI
	Ketinggian Air	Ketinggian Air
Action time (menit)	4,07	3,965
Steady state(menit)	4,6	4,8
Total luas valve terbuka(m ² /menit)	0,0921	0,0932

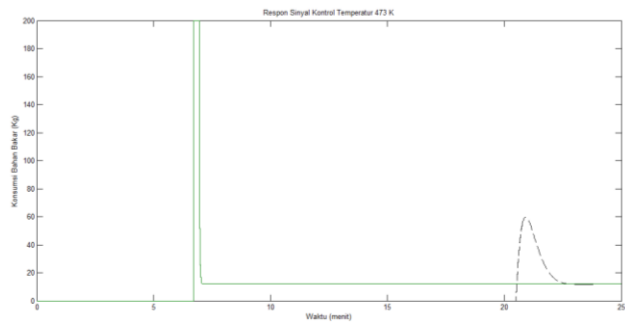
Berdasarkan tabel 6(b), kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki *action time* lebih cepat, waktu tetapan yang lebih lambat, dan energi yang dibutuhkan untuk membuka *valve* lebih besar dibandingkan dengan kontroler konvensional PI.

3.4. Hasil dan Analisa Variasi Setpoint Temperatur Uap

Pengujian terhadap *setpoint* tanpa gangguan dilakukan dengan memberikan masukan sistem berupa sinyal step dengan nilai *setpoint* sebesar 473 K. Hasil respon sistem ditampilkan pada gambar 10(a) dan gambar 10(b).



Gambar 10. (a) Pengujian respon temperatur *setpoint* 473 Kelvin



Gambar 10. (b) Respon sinyal kontrol temperatur *setpoint* 473 K

Gambar 10(a) menunjukkan perbedaan hasil keluaran antara kontroler konvensional PI dan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* pada sistem temperatur sedangkan gambar 10(b) menunjukkan respon keluaran dari sinyal kontrol antara kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* dan kontroler konvensional PI.

Tabel 7. (a) Perbandingan respon sistem pada temperatur

Respon Sistem	Kontroler Konvensional PI	Kontroler <i>Self Tuning Fuzzy PI</i>
Rise Time (menit)	21	6,88
Settling Time (menit)	21,5	6,93
Maximum Overshoot(%)	0	0
IAE	43.227	21.839

Dari Tabel 7(a), respon temperatur dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* mengalami *rise time* (t_r) yang lebih cepat yaitu 6,88 menit, sedangkan kontroler konvensional PI

yaitu 21. *Settling time* dengan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki *settling time* yang lebih cepat yaitu 6,93 menit sedangkan dengan kontroler konvensional PI yaitu 21,5 menit. Nilai *overshoot* maksimal pada kontroler konvensional PI adalah 1% sedangkan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* tidak memiliki *overshoot*. Nilai IAE pada kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* lebih rendah yaitu 21.839 dibanding kontroler konvensional PI yaitu 43.227.

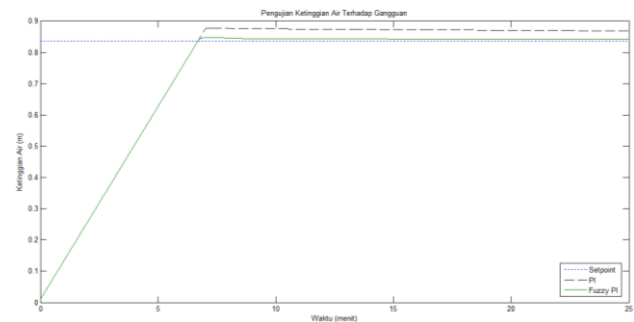
Tabel 7. (b) Perbandingan respon sinyal kontrol pada temperatur uap

Respon Sinyal Kontrol	PI	<i>Self Tuning Fuzzy PI</i>
	Temperatur Uap	Temperatur Uap
Action time (menit)	20,5	6,7
Steady state(menit)	23	7,2
Jumlah bahan bakar (Kg)	96,224	266,22

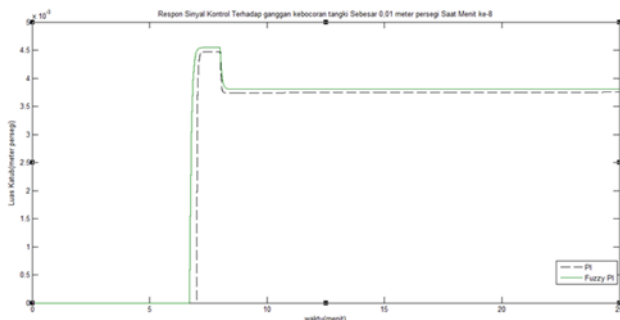
Berdasarkan tabel 7(b), respon kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki *action* yang lebih cepat yaitu 6,7 menit, sedangkan konvensional PI sebesar 20,5 menit. Terdapat perbedaan waktu *action* kontroler sekitar 13 menit. Respon kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki waktu *steady* terhadap *action* sebesar 7,2 menit selisih 16 menit lebih cepat dibanding konvensional PI 23 menit. Jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki lebih besar yaitu 266,22(Kg) sementara konvensional PI sebesar 96,224 (Kg).

3.5. Hasil dan Analisis Terhadap Gangguan Sistem Ketinggian Air

Pengujian gangguan pada sistem ketinggian air dilakukan saat ada kebocoran pada tangki sebesar 0,01 m² yang terjadi pada saat menit ke - 8 saat sistem telah berjalan. Hasil respon sistem ditampilkan pada gambar 11(a) dan gambar 11(b).



Gambar 11. (a) Respon Kontroler Terhadap Gangguan Kebocoran Tangki Sebesar 0,01m²



Gambar 11. (b) Respon Sinyal Kontrol Terhadap Gangguan Kebocoran Tangki Sebesar 0,01m² Saat Menit ke – 8

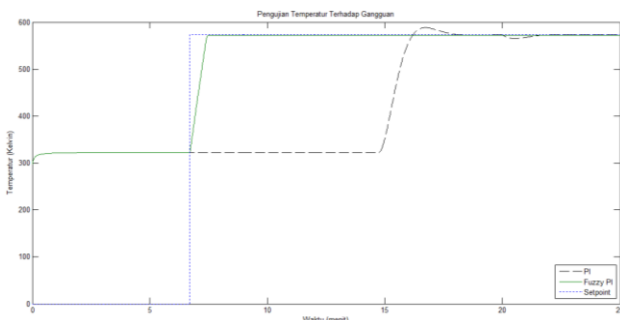
Hasil respon sinyal kedua kontroler memiliki *time rise* yang sama saat pengujian *set point* normal, respon kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* memiliki *action* yang lebih cepat yaitu 6,7 menit, sedangkan konvensional PI sebesar 7 menit. Perbedaan terjadi saat kebocoran tangki terjadi saat menit ke – 8, kedua kontroler sama – sama memberikan *action* yang sama namun kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* menghasilkan IAE lebih minim yaitu 2,8738 daripada IAE kontroler PI yaitu 3,4112.

Pengujian terhadap kinerja kontroler dilakukan untuk melihat tindakan kontroler terhadap gangguan kebocoran tangki seluas 0,01m² pada menit ke – 8 pada sistem level. Hasil keluaran sinyal kontrol ditampilkan pada gambar 11(b).

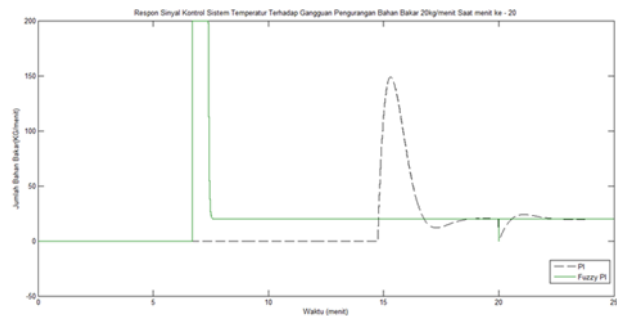
Perbedaan terjadi saat kebocoran tangki terjadi saat menit ke – 8, kedua kontroler sama – sama memberikan *action* yang sama namun kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* I memberikan luas katup yang lebih besar yaitu 0,0703 m²/menit daripada luas katup kontroler PI yaitu 0,0681 m²/menit.

3.6. Hasil dan Analisis Terhadap Gangguan Sistem Temperatur Uap

Pengujian gangguan pada sistem temperatur uap dilakukan saat ada pengurangan jumlah konsumsi bahan bakar sebesar 20 Kg/menit yang terjadi pada saat menit ke - 8 saat sistem telah berjalan. Hasil respon sistem ditampilkan pada gambar 12(a) dan gambar 12(b).



Gambar 12. (a) Respon Keluaran Sistem Temperatur Saat Gangguan Pengurangan Jumlah Bahan Bakar 20Kg/menit Saat menit ke – 20



Gambar 12. (b) Respon Keluaran Sinyal Kontrol Sistem Temperatur Saat Gangguan Pengurangan Jumlah Bahan Bakar 20Kg/menit Saat menit ke – 20

Respon nilai keluaran kedua kontroler saat terjadi gangguan yang berarti adalah perubahan nilai IAE yaitu kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* sebesar 22.584 sedangkan konvensional PI sebesar 43.661. Dengan menggunakan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI*, perubahan nilai IAE sangat minim saat ada gangguan.

Respon keluaran kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* terlihat mampu dengan cepat memberikan tanggapan saat terjadi gangguan yang terjadi pada menit ke – 20 hingga mencapai nilai *steady* dengan segera. Ini berbeda dengan kontroler konvensional PI yang membutuhkan waktu sekitar 2 menit untuk menangani gangguan dan mencapai nilai *steady*.

4. Kesimpulan.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* pada ketinggian air dapat mengurangi overshoot sebesar 3,4% dan mengurangi IAE sebesar 55,8% sedangkan pada sistem temperatur uap mempercepat *rise time* dan *settling time* 0,6 dan 7,6 menit, menghilangkan overshoot dan mengurangi IAE lebih dari 50% penggunaan logika fuzzy pi kontroler konvensional PI yang berfungsi sebagai *auto tuning* dapat memperbaiki respon *transient* dan respon *steady state*. Penggunaan kontroler *Self Tuning Fuzzy PI* juga dapat menangani gangguan yang terjadi secara tiba-tiba pada sistem *steam drum boiler* dan dengan perubahan penurunan *setpoint* pada sistem dengan rentang penguatan Kp dan Ki yang tepat.

Referensi

- [1]. S. A. Muin, *No TiPesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)tle*. Jakarta: Rajawali Pers, 1988.
- [2]. S. Teir and A. Kulla, "Feedwater and Steam System Components," 2002.
- [3]. M. Metode, L. Quadratic, R. Lqr, E. Apriliani, and M. Si, "Pengendalian optimal pada sistem," pp. 1–10, 2010.
- [4]. Y. Huang, N. Li, Y. Shil, and Y. Yil, "Genetic Adaptive Control for Drum Level of a Power Plant Boiler," *Proc. IMACS Multiconf. Comput. Eng. Syst. Appl.*, vol. 2, pp. 1965–1968, 2006.

- [5]. Z. Li and S. Xia, "The Study of Boiler Control System of Water Level of Steam Drum Based on New Immune PID Controller," *Second Int. Conf. Digit. Manuf. Autom.*, pp. 1336–1339, 2011.
- [6]. Stephanopoulos, "Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice," 1984.
- [7]. I. Setiawan, *Kontrol PID Untuk Proses Industri*. 2008.
- [8]. Zulfatman and M. F. Rahmat, "Application Of Self-Tuning Fuzzy PID Controller On Industrial Hydraulic Actuator Using System Identification Approach," vol. 2, p. 16, 2009.
- [9]. Z. Y. Zhao, M. Tomizuka, and S. Isaka, "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 23, no. 5, pp. 1392–1398, 1993.