

Sistem Kendali Suhu menggunakan PID Ziegler-Nichols dan Fuzzy Logic

Rendra Dwi Firmansyah, Oyas Wahyunggoro, Adha Imam Cahyadi

S2 Teknik Elektro UGM

Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281

firmansyah_1412@mail.ugm.ac.id, oyas@ugm.ac.id, adha.imam@ugm.ac.id

Abstrak—Suhu merupakan salah satu parameter penting yang dikendalikan dalam industri karena secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Masalah yang dihadapi dalam pengendalian suhu adalah suhu yang terlalu tinggi membuat sensor tidak dapat diletakkan pada sumber panas. Sensor diletakkan jauh dari sumber panas yang menyebabkan terjadinya *transport delay*. *Transport delay* ini yang menyebabkan pengendalian suhu menjadi sulit. Metode kendali yang uji coba adalah PID dan fuzzy logic. Hasil percobaan menggunakan PID Ziegler Nichols menghasilkan kinerja sistem kendali yang tidak memiliki overshoot, rise time yang cepat tetapi menimbulkan osilasi. Sistem kendali fuzzy menunjukkan hasil yang tidak terjadi osilasi tetapi rise time lama dan settling time yang lama.

Abstract—Temperature is a important parameter in industry which affect product quality. The problem in temperature control system is the temperature is too high for the sensor, so it must be placed far from the heat source. It will result transport delay which make difficult to control the temperature. This paper uses PID and fuzzy logic to control the temperature. The result of experiment PID control system using Ziegler Nichols the temperature system has no overshoot, fast rise time but there is oscillation. The fuzzy logic controller experiment give no oscillation but slow rise time and settling time.

Keywords—PID, Fuzzy Logic, Control System, Temperature, Ziegler Nichols

I. PENDAHULUAN

Suhu merupakan salah satu parameter yang penting untuk dikendalikan dalam dunia industri[1]. Dalam kehidupan modern, pengendalian suhu tidak hanya digunakan dalam bidang industri tetapi juga dibidang lain. Contoh pengendalian suhu di bidang industri antara lain pada *boiler*, *thermal analyzer*, industri keramik, industri metalurgi dan lain-lain. Pada contoh aplikasi tersebut suhu yang dikendalikan sangat tinggi dengan karakteristik yang berbeda-beda. Misalnya suhu pada *boiler* dapat mencapai ribuan derajat celcius yang menyebabkan sensor suhu meleleh jika langsung diletakkan pada sumber panas. Untuk mengatasi hal tersebut sensor diletakkan agak jauh dari sumber panas. Hal tersebut menyebabkan distribusi panas dari sumber panas ke sensor terdapat waktu tunda. Contoh lain betapa pentingnya pengendalian suhu dalam dunia industri adalah sistem pemanas tungku pada industri keramik dan metalurgi, suhu langsung mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Pada sistem pemanas suhu yang digunakan dapat mencapai 900°C sehingga

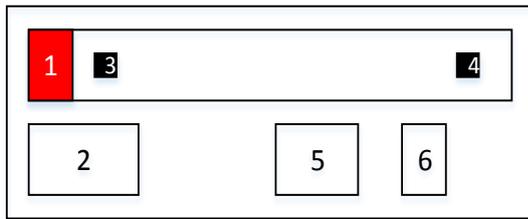
sensor juga tidak dapat langsung diletakkan pada tungku. Pengendalian suhu juga digunakan pada *power plant* yang dilakukan pada obyek uap utama yang memiliki waktu tunda yang besar dan inersia. Proses fermentasi juga memerlukan pengendalian suhu yang presisi. Pada proses ini juga terdapat waktu tunda[2].

Contoh-contoh aplikasi penggunaan pengendalian suhu semuanya memiliki masalah yang sama yaitu ketidak linearan sistem. Ketidak linearan sistem tersebut antara lain disebabkan oleh adanya waktu tunda, inersia, variasi waktu, *time lag* dan ketidakpastian [3, 4]. Karakteristik yang tidak linear, menyebabkan sistem kendali konvensional tidak dapat diterapkan untuk mengendalikan suhu pada aplikasi tersebut. Contoh pengendalian konvensional yang sering digunakan untuk pengendalian suhu adalah kendali PID. PID memang memiliki struktur yang sederhana dan *steady error* yang kecil sehingga digunakan dalam pengendalian di bidang industri. Namun, untuk sistem yang tidak linear, sistem kendali PID banyak memiliki kelemahan sehingga tidak bisa diterapkan pada aplikasi pengendalian suhu dengan karakteristik yang tidak linear. Sistem kendali yang mampu mengatasi ketidaklinearan sistem adalah sistem kendali *fuzzy*. Walaupun memiliki kemampuan untuk menangani ketidaklinearan sistem, sistem kendali *fuzzy* ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya *steady state error* yang tinggi, dan waktu *steady state* yang lama. Dari masalah tersebut diusulkan metode kendali hybrid yang menggabungkan sistem kendali PID dengan sistem kendali *fuzzy* untuk mengendalikan suhu pada sistem *non linear* sehingga didapatkan hasil yang memiliki *rise time* cepat, *steady state* time cepat, *steady state error* rendah dan tahan terdapat gangguan luar.

II. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras *plant* sistem kendali suhu terdiri dari sensor suhu, pemanas, rangkaian *driver* pemanas dan *data acquisition*. *Plant* dibuat dari pipa dengan panjang 1 m dengan pemanas berada di salah satu ujung pipa. *Plant* menggunakan dua sensor suhu yang masing-masing diletakkan pada ujung pipa dan di dekat pemanas. Sensor suhu yang digunakan adalah LM35. Sensor yang diletakkan di dekat pemanas dinamakan sensor monitor dan sensor yang diletakkan pada ujung pipa dinamakan sensor *feedback*. *Data acquisition* yang digunakan adalah National Instrument DAQ 6008. Rancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan sistem

Keterangan gambar :

1. Pemanas
2. Catu Daya
3. Sensor Monitor
4. Sensor Feedback
5. Rangkaian Driver Pemanas
6. Data Acquisition

B. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem dilakukan dengan menggunakan alat sistem identifikasi dari MATLAB. Sistem suhu merupakan sistem orde 1 dengan waktu tunda [5]. *Transfer function* yang diperoleh dari MATLAB ditunjukkan pada persamaan 1

$$e^{-2s} \frac{0,02092}{s + 0,03466} \quad (1)$$

C. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah *labview 2011*. Program yang dibuat digunakan untuk mengambil data sensor sekaligus mengendalikan pemanas agar nilai suhu yang terbaca oleh sensor sesuai dengan nilai set point yang diberikan. Program dimulai dengan membaca sensor feedback kemudian dibandingkan dengan set point yang diberikan. Dari perbandingan ini akan didapatkan nilai *error* yang kemudian diberikan ke blok kendali baik PID maupun kendali *Fuzzy Logic*. Blok kendali ini akan mengolah nilai *error* untuk menghasilkan sinyal kendali yang diberikan ke blok pemanas. Kemudian sensor akan membaca kembali suhu dan dibandingkan lagi dengan set point untuk mendapatkan nilai *error* berikutnya. Proses ini akan berlangsung secara terus menerus sampai tombol program distop. Gambar 2 menunjukkan diagram blok perangkat lunak dari sistem pengendalian suhu.

D. Perancangan Kendali PID

Salah satu sistem kendali yang diuji coba dalam sistem suhu ini adalah sistem kendali PID. Sistem kendali PID merupakan salah satu sistem kendali yang baik. Pada sistem kendali PID dibutuhkan tiga parameter yaitu koefisien *propotional(kp)*, koefisien

integral(ti) dan koefisien *derivative(td)*. Ketiga parameter ini didapatkan melalui penalaan. Penalaan dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya *trial and error* dan penalaan Ziegler Nichols.

Penalaan *trial and error* dilakukan dengan cara langsung menentukan nilai parameter *Kp*, *Ti*, dan *Td* secara acak. Jika hasil yang didapatkan kurang memuaskan nilai parameter *Kp*, *Ti* dan *Td* diganti dengan nilai yang baru. Proses penggantian parameter ini akan berlangsung terus-menerus sampai didapatkan tanggapan sistem yang diinginkan atau sama dengan *set point*.

Penalaan Ziegler Nichols dilakukan dengan cara memvariasikan nilai parameter *Kp* hingga menghasilkan tanggapan sistem osilasi [5]. *Kp* yang menghasilkan tanggapan sistem osilasi ini dinamakan dengan parameter kritis (*Kcr*). Dari tanggapan sistem tersebut juga didapatkan periode kritis (*Pcr*). Kedua nilai ini yang nantinya digunakan untuk mendapatkan nilai parameter *Kp*, *Ti*, dan *Td* berdasarkan tabel penalaan zigler nicols yang ditunjukkan pada tabel 1

TABEL 1 Aturan penalaan Ziegler Nichols metoda 2

Jenis Kendali	Kp	Ti	Td
P	0,5K _{cr}	∞	0
PI	0,45K _{cr}	1/1,2P _{cr}	0
PID	0,6K _{cr}	0,5P _{cr}	0,125P _{cr}

E. Perancangan Kendali Fuzzy Logic

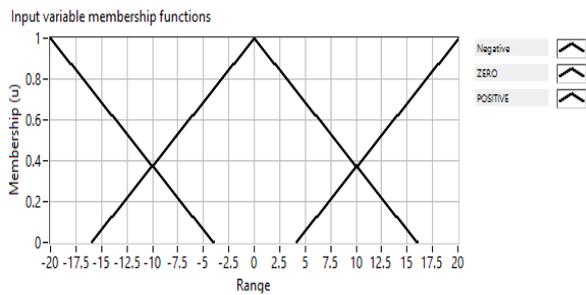
Sistem kendali *fuzzy logic* yang dirancang untuk sistem kendali suhu pada penelitian ini adalah *3x3 rule based* dan *5x5 rules based*. Sistem kendali fuzzy logic ini menggunakan *multiple input* dan *single output*. Masukan untuk sistem kendali fuzzy logic ini adalah *error(e)* dan *delta error (Δe)* sedangkan keluaran dari sistem kendali *fuzzy logic* ini adalah sinyal kendali berupa *duty cycle* yang digunakan untuk mengatur tingkat kepanasan pemanas.

Perancangan sistem kendali fuzzy logic *3x3 rules based* dimulai dengan menentukan aturan dari sistem kendali fuzzy logic untuk masukan *error(e)* yang ditunjukkan pada tabel 2.

TABEL 2 Aturan Fuzzy 3x3

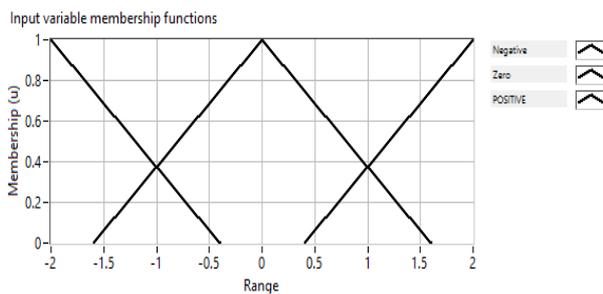
Error/rate	NEGATIVE	ZERO	POSITIVE
NEGATIVE	N	N	Z
ZERO	N	Z	P
POSITIVE	Z	P	P

Dari tabel 2 selanjutnya dilakukan penentuan keanggotaan dari masing-masing masukan dan keluaran. Keanggotaan untuk masukan *error* ditunjukkan pada gambar 2



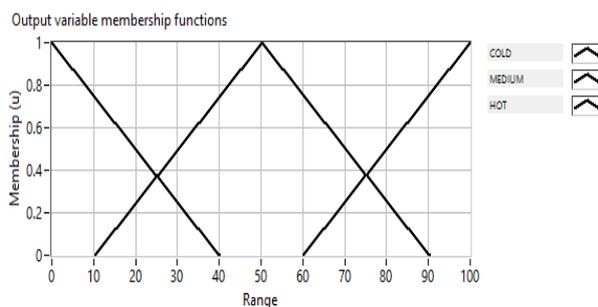
Gambar 2 Keanggotaan masukan error

Gambar 2 menunjukkan anggota masukan *error* (*e*) dibagi menjadi tiga yaitu *negative* [-36 -20 -4], *zero* [-16 0 16] dan *positive* [4 20 36]. Untuk masukan *delta error* dibagi menjadi tiga *negative* [-3,6 -2 -0,4], *zero* [-1,6 0 1'6] dan *positive*[0,4 2 3,6]. Fungsi keanggotaan dari delta error ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Keanggotaan masukan delta error

Anggota keluaran *duty cycle* memiliki fungsi keanggotaan *negative* [-40 0 40], *zero* [10 50 90], *positive* [60 100 140]. Fungsi keanggotaan dari *duty cycle* ditunjukkan pada gambar 4.



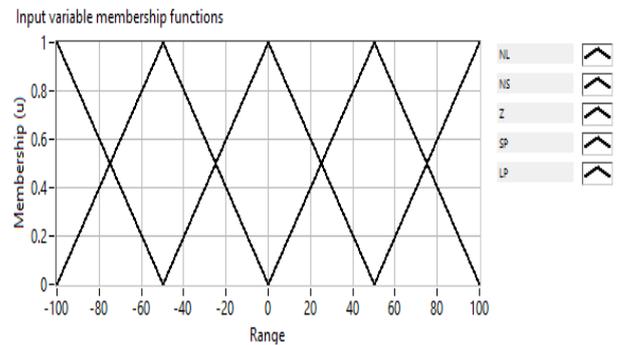
Gambar 4 Keanggotaan keluaran duty cycle

Perancangan sistem kendali fuzzy logic 5x5 rules based juga dimulai dengan menentukan aturan dari sistem kendali fuzzy tersebut dengan masukan yang sama dengan sistem fuzzy logic 3x3 namun dengan keanggotaan yang lebih banyak yaitu 5x5. Aturan dari sistem fuzzy logic 5x5 ditunjukkan pada tabel 3.

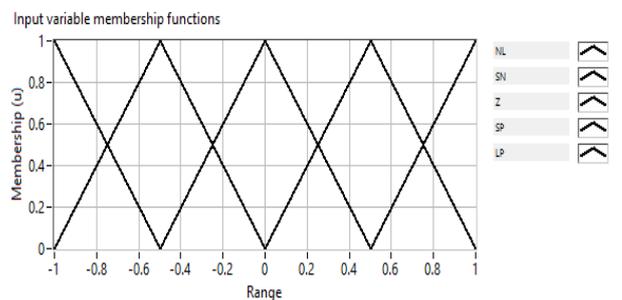
TABEL 3 Aturan Fuzzy 5x5

Error/rate	NL	NS	Z	PS	PL
NL	VS	VS	VS	S	M
NS	VS	VS	S	M	L
Z	VS	S	M	L	VL
PS	S	M	L	VL	VL
PL	M	L	VL	VL	VL

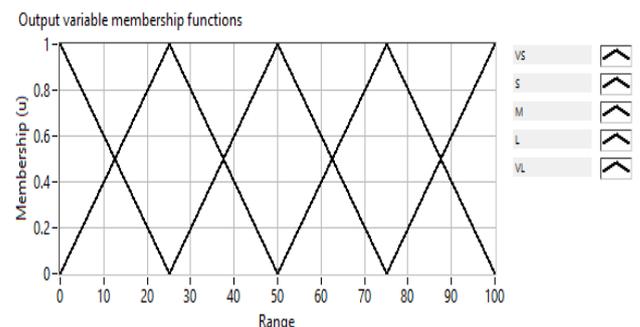
Fungsi keanggotaan dari *error* dan untuk sistem fuzzy logic 5x5 dibagi menjadi 5 yaitu NL[-150 -100 -50], NS[-100 -150 0], Z[-50 0 50], PS[0 50 100], PL. Fungsi keanggotaan delta error jua dibagi menjadi 5 yaitu NL[-1.5 -1 -0.5], NS[-1 -0.5 0], Z[-0.5 0 0.5], PS [0 0.5 1], PL[0.5 1 1.5]. Fungsi keanggotaan dari *duty cycle* dibagi 5 yaitu VS, S, M, L, VL. Gambar 4 menunjukkan fungsi keanggotaan sistem fuzzy logic untuk masukan *error*. Gambar 5 menunjukkan fungsi keanggotaan *error* dan gambar 6 menunjukkan fungsi keanggotaan *delta error* sedangkan fungsi keanggotaan *duty cycle* ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 5 keanggotaan masukan error 5x5



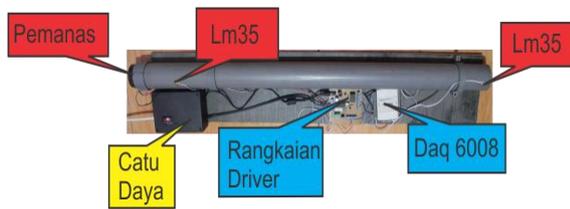
Gambar 6 keanggotaan masukan delta error 5x5



Gambar 7 Keanggotaan keluaran duty cycle 5x5

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

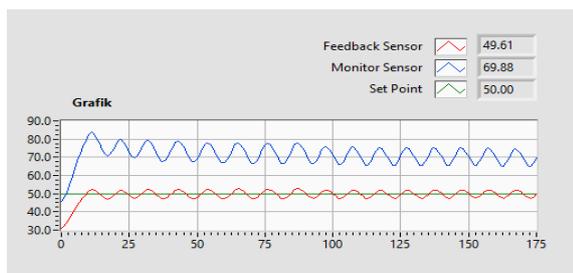
Dalam penelitian ini pengujian dibagi menjadi dua yaitu kendali suhu PID dan kendali suhu *fuzzy logic*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat eksperimen yang telah dibuat. Dari pengujian didapatkan hasil berupa *transfer function*, dan tanggapan sistem terhadap sistem kendali yang diterapkan. Sistem yang digunakan untuk percobaan ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8 Alat eksperimen

A. *Proportional Integral Derivative*

Sistem kendali yang dicobakan pada sistem kendali suhu yang pertama adalah sistem kendali PID. Dalam melakukan percobaan dilakukan penalaan parameter K_p , T_i dan T_d menggunakan penalaan Ziegler Nicholes metode kedua dengan mencari K_{cr} dan P_{cr} . Setelah dilakukan percobaan didapatkan K_{cr} sebesar 150 dan P_{cr} sebesar 11 detik. Hasil percobaan untuk mencari K_{cr} dan P_{cr} ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 Hasil percobaan K_{cr} dan P_{cr}

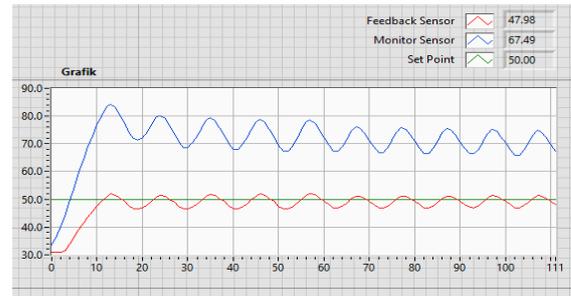
Menggunakan nilai K_{cr} dan P_{cr} yang didapatkan dan dimasukkan ke persamaan yang telah ditunjukkan pada TABEL 1 didapatkan parameter K_p , T_i dan T_d seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

TABEL 4 Parameter PID

Jenis Kendali	K_p	T_i	T_d
P	75		
PI	67.5	9.166666667	
PID	90	5.5	1.375

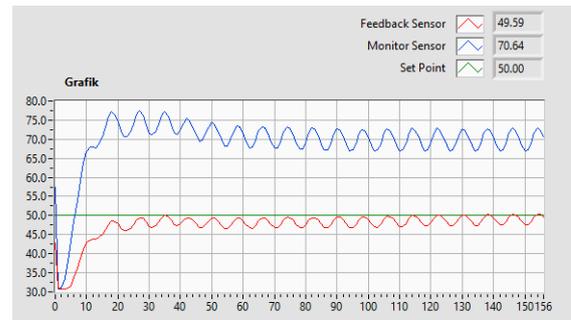
Dengan menggunakan parameter-parameter tersebut, diujicoba sistem kendali baik menggunakan sistem kendali P, kendali PI dan kendali PID. Pengujian dilakukan dengan menentukan nilai set point

sebesar 50 °C. Hasil uji coba sistem kendali P ditunjukkan oleh gambar 10.



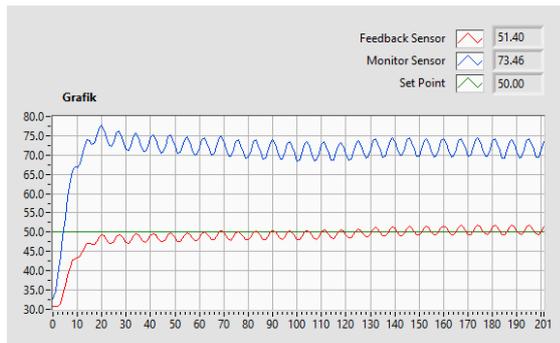
Gambar 10 Hasil percobaan sistem kendali P

Gambar 10 menunjukkan kinerja sistem kendali P yang mempunyai *overshoot* sebesar 52 °C dan terjadi osilasi. *Steady state error* sebesar 6 °C. Uji coba berikutnya menggunakan sistem kendali PI dengan set point 50 °C. Dari uji coba sistem kendali PI didapatkan hasil performance sistem kendali ini tidak menghasilkan *overshoot* tetapi *rise time* menjadi lambat. Pada sistem kendali ini masih terjadi osilasi. Hasil pengujian sistem kendali PI ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11 Hasil percobaan sistem kendali PI

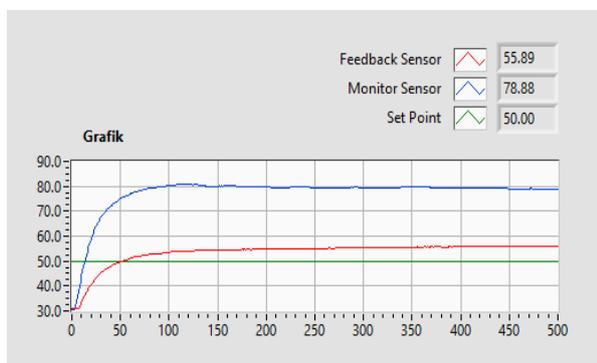
Pengujian berikutnya dilakukan adalah sistem kendali PID dengan set point 50 °C. Dari pengujian ini didapatkan hasil yang tidak terjadi *overshoot* tetapi *rise time* tidak berkurang. Hanya saja masih tetap terjadi osilasi. Gambar 12 menunjukkan hasil ujicoba untuk sistem kendali PID.



Gambar 12 Hasil percobaan sistem kendali PID

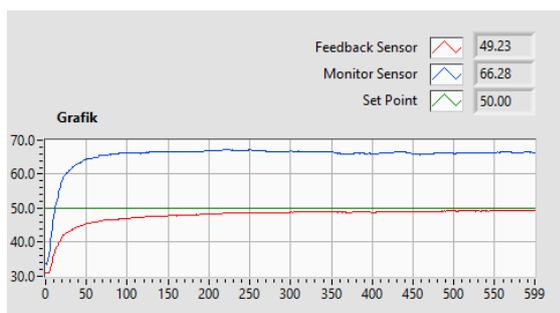
B. Fuzzy Logic Controller

Sistem kendali kedua yang diuji dalam penelitian ini adalah sistem kendali fuzzy logic. Pengujian dilakukan dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dirancang sebelumnya. Untuk sistem kendali fuzzy 3x3 digunakan set point 50 °C. Hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 13.



Gambar 13 Hasil percobaan sistem kendali fuzzy logic 3x3

Gambar 13 menunjukkan performance dari sistem kendali fuzzy 3x3 tidak menghasilkan overshoot dan tidak menimbulkan osilasi. Pengujian berikutnya adalah sistem kendali fuzzy 5x5 dengan set point 50 °C. Hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 14.



Gambar 14 Hasil percobaan sistem kendali fuzzy logic 5x5

Gambar 14 menunjukkan kinerja dari sistem kendali 5x5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa overshoot tidak terjadi pada sistem kendali fuzzy 5x5. Osilasi

juga tidak terjadi pada sistem kendali fuzzy 5x5. *Steady error* juga rendah yaitu 2 °C. Tetapi untuk mencapai settling time untuk sistem kendali fuzzy 5x5 ini lama yaitu 1000 detik.

IV. KESIMPULAN

Sistem kendali suhu dapat dilakukan menggunakan sistem kendali PID dan sistem kendali fuzzy logic. Penalaan Ziegler Nichols untuk menentukan parameter K_p , T_i dan T_d namun hasilnya masih kurang baik untuk *plant* kendali suhu karena masih menimbulkan overshoot dan osilasi. Keunggulan sistem PID ini dibandingkan dengan sistem kendali fuzzy adalah mempunyai rise time yang cepat dan *settling time* yang cepat. Sistem kendali fuzzy 5x5 cukup baik diterapkan pada sistem kendali suhu ini karena memiliki steady state error yang kecil, tidak ada overshoot dan tidak terjadi osilasi. Hanya saja sistem kendali ini mempunyai settling time yang lama.

REFERENSI

- [1] W. Cao and Q. Meng, "Based on PLC temperature PID - fuzzy control system design and simulation," in *Information Networking and Automation (ICINA), 2010 International Conference on*, 2010, pp. V2-417-V2-421.
- [2] Y. Zhou, L. Zhang, G.-l. Wang, and Q. Yang, "A Nonlinear PID Controller Based on an Adaptive Genetic Algorithm," in *Intelligent Networks and Intelligent Systems, 2009. ICINIS '09. Second International Conference on*, 2009, pp. 98-101.
- [3] L. Zhi-Bin, "Application of Self Adaptation Fuzzy-PID Control for Main Steam Temperature Control System in Power Station," in *Machine Learning and Cybernetics, 2007 International Conference on*, 2007, pp. 731-734.
- [4] J. Jiang and X. Zhang, "Research on Fuzzy-PID control algorithm from the temperature control system," in *Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 3rd IEEE International Conference on*, 2010, pp. 152-155.
- [5] K. Ogata, *Modern Control Engineering*: Prentice Hall, 2010.