



PEMODELAN KONTROL FUZZY PADA PEMANAS FUEL GAS

Nasrul ZA, Leni Maulinda, Amri

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
Korespondensi: HP: 082164699680, e-mail: nasrulzast@gmail.com

Abstrak

Kendali berbasis logika fuzzy saat ini banyak digunakan, menurut hasil beberapa penelitian terdahulu melaporkan kendali fuzzy mempunyai unjuk kerja lebih baik dibandingkan kendali konvensional Proporsional Integral Derivative (PID). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat kemungkinan aplikasi kontrol fuzzy pada sistem feed reject di PT. Arun NGL yang berfungsi mengatur temperatur aliran gas yang menuju ke kompresor fuel gas. Pada plant temperatur harus dijaga pada $-37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, tujuannya untuk mencegah terjadinya surging pada kompresor fuel gas. Metodologi penelitian ini didasarkan pada simulasi komputer untuk membandingkan unjuk kerja kontrol FInc dengan kontrol Fuzzy dalam mengontrol temperatur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa, pada pengujian model kontrol dengan variasi setpoint pada range temperatur yang kecil model kontrol FInc lebih cepat $2\text{ menit}/^{\circ}\text{C}$ untuk mencapai setpoint. Kenaikan dan penurunan temperatur setpoint secara bertahap pada range temperatur yang besar model kontrol FInc lebih cepat mencapai setpoint $1,41\text{ menit}/^{\circ}\text{C}$. Pada kenaikan dan penurunan temperatur secara drastis model kontrol FInc lebih cepat $0,89\text{ menit}$ mencapai setpoint. Kontrol FInc mempunyai kinerja yang lebih baik pada posisi error yang besar dan laju alir yang besar.

Kata kunci: logika Fuzzy, LNG Exchanger

1. Pendahuluan

Logika *Fuzzy* pertama kali dikembangkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, seorang lulusan Barkley yang belakangan dikenal sebagai Bapak penemu Logika *Fuzzy*. Ide dasar dari logika *fuzzy* adalah: Manusia tidak memerlukan ketepatan, informasi masukan angka, namun dapat memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengontrol (Groza, 2005).

Metode kontrol fuzzy menghadirkan pendekatan baru untuk mengatasi persoalan kontrol pada sistem *nonlinear* yang rumit, sistem yang memiliki model matematika yang sulit atau tidak mungkin digambarkan, dan sistem-sistem dengan multiple input dan output yang sulit untuk didefinisikan, contohnya sebuah kapal

yang berasal dari lokasi tidak tentu dari arah laut menuju ke area dok dan sandar pada lokasi yang tepat di dermaga. Kontrol fuzzy mendapat sambutan dari kalangan ahli teknik dengan banyaknya aplikasi pada bidang teknik maupun non teknik yang telah dibuat, khususnya pada bidang industri yang rumit, bidang ekonomi dan dunia medis (Kovacic dan Bogdan, 2006). Kendali *fuzzy* (*fuzzy control*) merupakan alternatif sistem kendali untuk menghadapi berbagai masalah dan tantangan bidang kontrol, karena dapat memberikan cara yang mudah untuk membuat sistem kontrol dengan menggunakan informasi seorang ahli (*expert knowledge*) misalnya operator kontrol. Kontrol logika *fuzzy* bersifat *nonlinear* yang dapat melakukan penyesuaian secara alami serta memiliki kemampuan dan unjuk kerja yang baik untuk mendapatkan aksi kontrol yang diinginkan. Pengendali berdasarkan logika *fuzzy* memiliki dasar matematika sebagai dasar ketepatan dan telah dibuktikan dengan sangat sukses untuk berbagai aplikasi (Maiers and Sherif, 1985).

Kontrol logika *fuzzy* didasarkan pada teori himpunan *fuzzy* yang digunakan untuk menghadirkan pengalaman dan pengetahuan seorang operator dalam bentuk variabel linguistik yang disebut dengan aturan-aturan *fuzzy* (*fuzzy rules*). Dari pengalaman seorang operator, dengan hanya melihat keluaran sistem dan variasi parameter dapat dilakukan penyesuaian sistem masukan untuk mendapatkan output yang tepat. Implementasi aturan-aturan *fuzzy* linguistik didasari pada prosedur yang dilakukan seorang operator tanpa membutuhkan model matematika sistem yang ditinjau.

Dalam kasus lain, informasi cerdas dapat berasal dari seorang ahli pengendali (*control engineer*) yang telah melakukan pengembangan dan analisa dengan menggunakan model matematika dan algoritma pengendalian untuk proses kendali tertentu (Passino, 1998).

Beberapa peneliti telah melaporkan penerapan kendali *fuzzy*, antara lain penggunaan kendali *fuzzy* untuk optimasi sistem kendali menara pendingin (*cooling tower*) (Blanc, 2000). Pada sistem *multi variabel*, penentuan titik operasional optimal menghasilkan banyak kombinasi nilai dan variabel, mengendalikan sistem *multi variabel* membutuhkan analisa yang lebih kompleks.

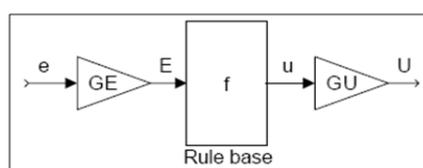
Penyelesaian yang didasarkan pada model matematika dari proses yang ditinjau biasanya jauh dari hasil yang diharapkan. Karena kebanyakan model matematika mengalami penyederhanaan dan linearisasi untuk mendapatkan kendali yang optimal. Ditunjukkan bahwa bagaimana logika *fuzzy* dapat memberikan solusi yang efisien dalam disain kendali *multi variabel*.

Teknik kendali *fuzzy* dapat digunakan untuk meningkatkan unjuk kerja kendali industri. Kendali *fuzzy* dapat bekerja dengan baik dan telah mencapai popularitas yang membanggakan pada pabrik yang bekerja dengan sistem otomatis dan lebih jauh lagi dalam proses industri. Pengembangan prototipe dapat dilakukan dalam waktu singkat, hanya membutuhkan memori komputer yang sedikit dan mudah diimplementasikan membuat kendali *fuzzy* cepat dikenal di dunia industri. Untuk membuat pengembangan kendali *fuzzy* lebih lanjut disarankan memahami bagaimana kinerja kendali *fuzzy* bila dibandingkan dengan metode kendali *non linear* lainnya (Wal, 1995). Dalam mendisain kontrol *fuzzy* diperlukan pengambilan keputusan yang lebih dari biasa, misalnya terhadap *rule base*, *inference engine*, *defuzzification* serta *pre* dan *post processing data* (Jantzen, 1998).

Berdasarkan susunan struktur dan masukannya kontrol *fuzzy* dapat dibedakan atas 4 jenis yaitu :

A. Kontrol *Fuzzy Proporsional*

Masukan bagi kontrol *fuzzy proporsional (FP)* adalah *error*, dan keluarannya adalah *control signal (cf)*. Blok diagramnya pada Gambar 1.

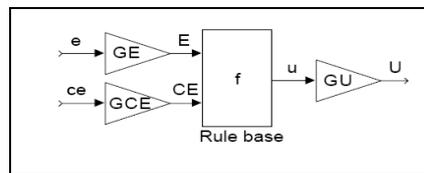


Gambar 1. Kontrol *Fuzzy Proporsional (FP)* (Jantzen, 1998)

Ini adalah kontrol *fuzzy* yang paling sederhana. Keluaran dari kendali *FP* ini adalah sinyal kontrol U_n , fungsi non linear dari e_n ,

$$U_n = f(GE * e_n) * GU$$

B. Kontrol *Fuzzy Proporsional Derivative (FPD)*



Gambar 2. Kontrol *Fuzzy Proporsional Derivative* (Jantzen, 1998)

Aksi *derivative* ditunjukkan pada Gambar 2 dapat membantu memprediksi *error* dan kontrol *FPD* menggunakan aksi *derivative* untuk meningkatkan stabilitas *closed-loop*. Dasar dari struktur kendali *PD* adalah :

$$u_n = K_p \left(e_n + T_d \frac{e_n - e_{n-1}}{T_s} \right) \quad (1)$$

Keluaran kendali *FPD* adalah sebuah fungsi nonlinear dari *error* dan *change in error*

$$U_n = f(GE * e_n, GCE * ce_n) * GU \quad (2)$$

C. Kontrol *Fuzzy Incremental (FInc)*

Kalau ada *error* yang bertahan pada kondisi *steady state*, aksi integral dapat digunakan untuk mengatasinya. Aksi integral akan menaikkan sinyal kontrol jika ada *small positive error*, tidak masalah seberapa kecilnya error tersebut, aksi integrasi akan menaikkan jika *error* tersebut adalah *negative*.

Kendali dengan aksi integral akan selalu membawa ke *zero* dalam kondisi *steady state*.

Ada kemungkinan untuk mendapatkan kontrol *fuzzy PI* dengan menggunakan masukan *error* dan *change error* kedalam *rule base*. Pengalaman menunjukkan, bahwa cukup sulit untuk menuliskan aksi integral. Persoalan muncul dengan *integrator windup*, *windup* terjadi saat *actuator* mencapai *limit* nya, contoh kecepatan maksimum untuk motor atau bukaan maksimum dari *valve*. Ketika *actuator* jenuh, aksi kendali menjadi tetap konstant, tetapi *error* akan terus di integrasi, *integrator* dalam kondisi *windup*. Bagian integral dapat menjadi sangat besar dan akan membutuhkan waktu yang lama untuk turun saat *error* berubah tanda. *Overshoot* menjadi besar sebagai konsekwensinya ada metode untuk menghindari ini (Astrom dan Hagglund, 1995). Solusi yang lebih baik adalah membuat konfigurasi kontrol dalam bentuk kendali *incremental*, ditunjukkan pada Gambar 3 Kendali *incremental* menambahkan perubahan kontrol sinyal Δu kedalam sinyal kendali,

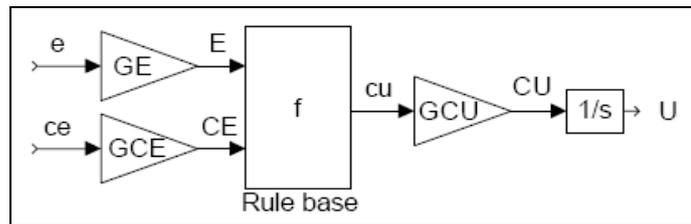
$$u_n = u_{n-1} + \Delta u_n \Rightarrow$$

Sinyal kontrol U_n adalah jumlah dari semua kenaikan (*increments*) sebelumnya,

$$U_n = \sum_i (cu_i * GCU * T_s) \quad (3)$$

Dimana $U_n = \Sigma(GCU * cu_i)$, bedanya adalah periode sample T_s .

$$U_n = \sum_{i=1}^n (E_i + CE_i) * GCU * T_s \quad (4)$$

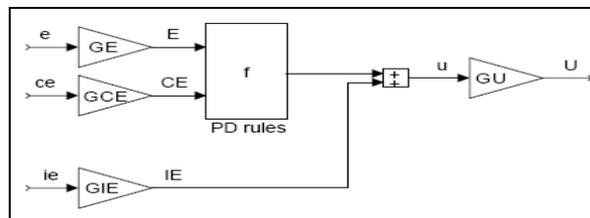


Gambar 3. Kontrol *Fuzzy Incremental* (Jantzen 1998)

D. Kontrol *Fuzzy Proporsional, Integral dan Derivative FPD+I.*

Fuzzy PID dengan tiga *input: error, integral error, dan derivative error.* *Rule base* dengan tiga *input* akan membuat jumlah *rule* bertambah banyak, hal ini akan menimbulkan kesulitan ditambah lagi dengan memasukkan aksi integral kedalam *rule*, situasi jadi tambah sulit. Oleh karenanya, aksi *integral* dipisah menjadi *Fuzzy PD + I*, lihat Gambar 4.

$$ie_n = \sum_i (e_i * T_s) \tag{5}$$



Gambar 4. Kontrol *Fuzzy PD+I (FPD+I)* (Jantzen, 1998)

sekarang kontrol telah memiliki tiga input:

$$U_n = [f(GE * e_n, GCE * ce_n) + GIE * ie_n] * GU \tag{6}$$

Dari hasil penelitiannya, Jantzen (1998) memperoleh hubungan konstanta pada PID konvensional dengan Fuzzy PID adalah sebagai berikut.

$$GE * GU = K_p \tag{7}$$

$$\frac{GCE}{GE} = T_d \tag{8}$$

$$\frac{GIE}{GE} = \frac{1}{T_i} \tag{9}$$

Pengendali ini memiliki semua keuntungan dari kontrol *PID*, tetapi juga kerugiannya yaitu *derivative kick* dan *integrator windup*. Lengkapnya, keuntungan dan kerugian dari kontrol *fuzzy* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Keuntungan dan kerugian jenis kontrol *fuzzy* (Jantzen, 1998)

<i>Controller</i>	<i>Advantage</i>	<i>Disandvatage</i>
<i>FP</i>	<i>Simple</i>	<i>Maybe to Simple</i>
<i>FPD</i>	<i>Less Overshoot</i>	<i>Noise sensitive, derivative kick</i>
<i>Finc</i>	<i>Removes steady state error, smoot control signal</i>	<i>Slow</i>
<i>FPD+I</i>	<i>All in one</i>	<i>Windup, derivative kick</i>

Dari uraian diatas penggunaan kontrol fuzzy menjanjikan unjuk kerja yang lebih baik, membutuhkan memori komputer yang sedikit, dan kemudahan dalam mendisainnya. Mengaplikasikan sistem kontrol Fuzzy pada unit pencairan gas PT. Arun di sistem feed/reject untuk melihat kemungkinan penggunaan dan unjuk kerja yang akan dihasilkan pada sistem tersebut.

2. Peralatan dan Metode

2.1 Peralatan

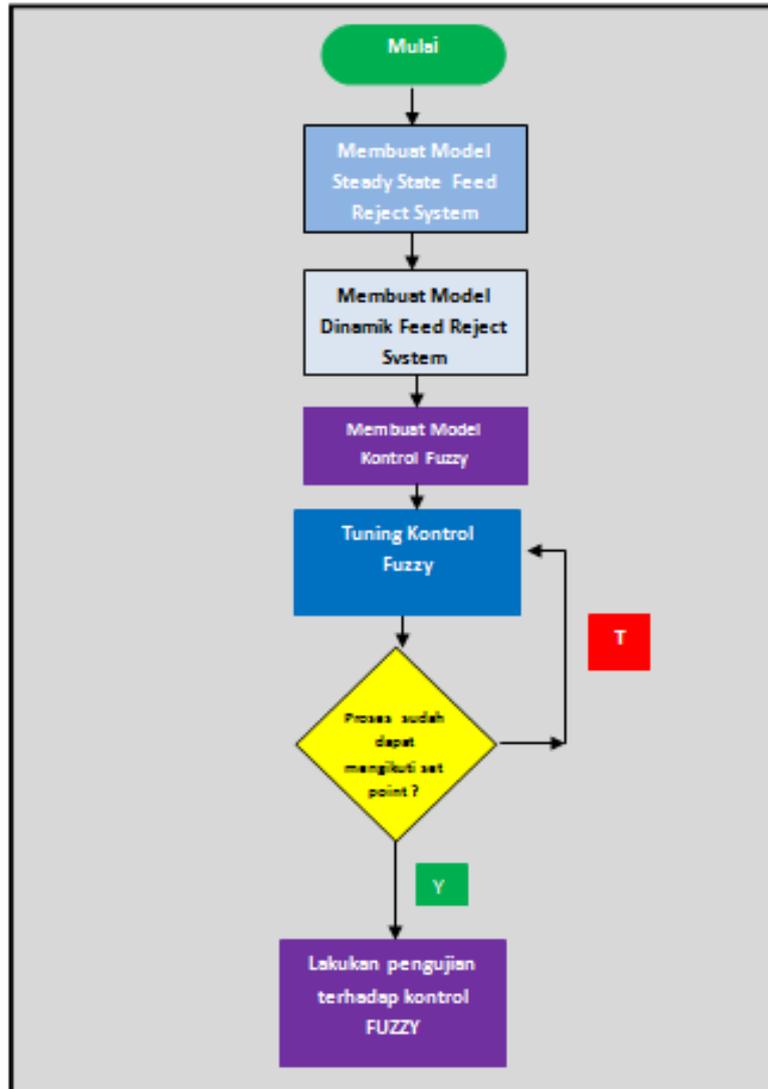
Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

1. Satu buah laptop dengan spesifikasi: Merk Hewlet Packard, memory 2GB, processor Core Duo, Hardisk 160 GB.
2. *Software* Hyprotech Hysys 3.2, Matlab 5.2, ControlStation 2.3.
3. *Software* pelengkap Microsoft Office

2.2 Metode

Tahapan pelaksanaan penelitian ini difokuskan pada pemasangan kontrol *fuzzy incremental* yang juga dipasang pada kontrol TIC-4x08 dalam merespon

gangguan yang diberikan pada proses. Gambar 5 adalah bagan alir langkah penelitian yang dilakukan.



Gambar 5. Bagan Alir Langkah Penelitian

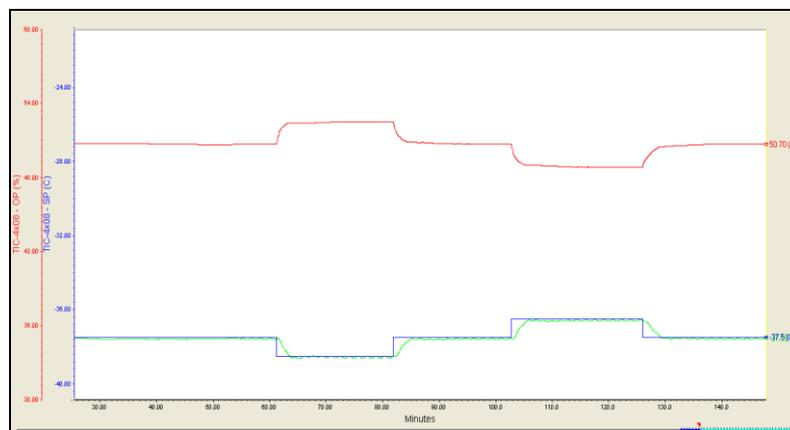
3. Hasil dan Diskusi

Pengujian Model Kontrol Dengan Variasi *Set point* Pada *Range* Temperatur $-36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan $-38.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pengujian model kontrol *Fuzzy Incremental* dilakukan untuk mengetahui kinerja dari masing-masing model kontrol dibandingkan dengan data *real plant*.

Dalam pengujian ini akan dilihat respon dari masing-masing model kontrol dengan variasi *set point* pada *range* temperatur -36.5 , -37.5 dan -38.5°C . Pemilihan *range* temperatur *set point* tersebut berdasarkan data *real plant* yang tersedia. Hasil pengujian untuk model kontrol *Fuzzy Incremental* ditampilkan pada Gambar 4.1.

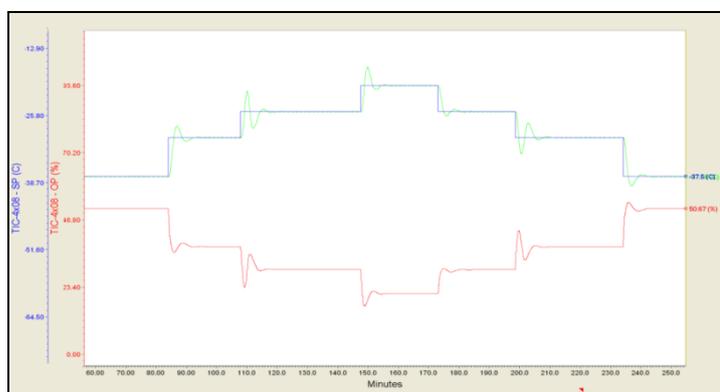
Gambar 4.1. menunjukkan bahwa model kontrol Fuzzy dapat mencapai temperature *set point* dengan baik pada *range* temperatur *set point* -38.5°C sampai dengan -36.5°C yaitu 2 menit.



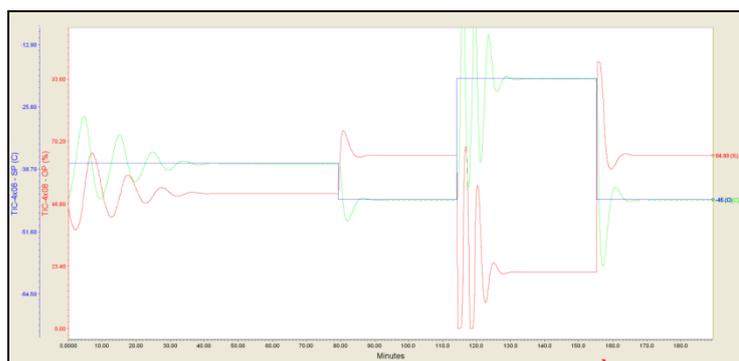
Gambar 4.1. Grafik hasil pengujian model plant pada range temperatur -38.5°C sampai dengan -36.5°C menggunakan model: (a) kontrol FInc dengan $\text{GCU}= 3.3$, $\text{GE}=0.8$ dan $\text{GCE}=400$

Pengujian Model Kontrol Dengan Variasi *Set Point* Pada *Range* Temperatur yang Lebih Besar.

Data yang diperoleh dari *real plant* memiliki *range* temperatur hanya 3°C . *Range* ini cukup kecil dan kurang dapat memberikan gambaran kemampuan kontrol dalam merespon gangguan. *Range* yang cukup kecil ini dapat dipahami, sebab tidak mungkin memperoleh data *real plant* dengan *range* yang lebar pada saat kondisi *plant* sedang beroperasi penuh. Untuk mengetahui lebih jauh kinerja kontrol *fuzzy* maka dilakukan pengujian dengan *range* temperatur yang lebih lebih besar. Pengujian dilakukan dengan cara menaikkan dan menurunkan temperatur *set point* secara bertahap maupun secara drastis dengan menggunakan *simulasi plant* untuk masing-masing model kontrol.



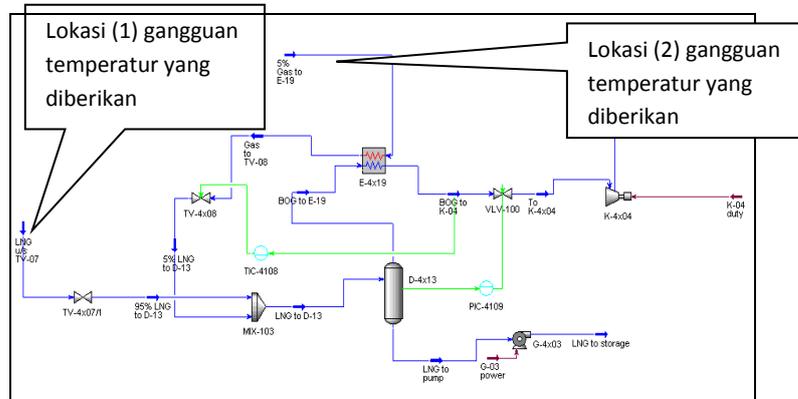
Gambar 4.2. Grafik hasil pengujian model plant pada range temperatur -37.5°C sampai dengan -20°C pada kondisi kenaikan dan penurunan temperatur *setpoint* secara bertahap dengan menggunakan model kontrol *FInc* dengan $\text{GCU}= 3.3$, $\text{GE}=0.8$ dan $\text{GCE}=400$



Gambar 4.3. Grafik hasil pengujian model plant pada range temperatur -45°C sampai dengan -20°C pada kondisi kenaikan dan penurunan temperatur *setpoint* secara drastis dengan menggunakan model kontrol *FInc* dengan $\text{GCU}= 3.3$, $\text{GE}=0.8$ dan $\text{GCE}=400$

Pengujian Dengan Memberikan *Disturbance*

Pengujian lebih lanjut untuk melihat kemampuan masing-masing model kontrol dilakukan dengan cara memberikan gangguan (*disturbance*) pada masing-masing model kontrol. Ada 2 (dua) lokasi pemberian gangguan yang dapat dilihat pada Gambar 4.4. Gangguan yang diberikan adalah kenaikan dan penurunan temperatur dari aliran LNG u/s TV-07 dan aliran 5% Gas to E19. Perbandingan laju alir dari kedua stream tersebut adalah 95% : 5 %.

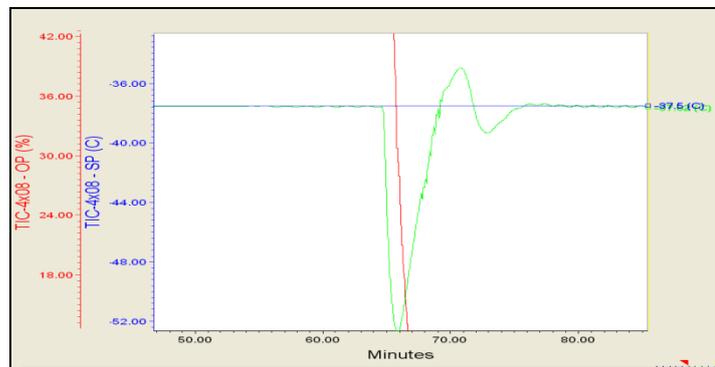


Gambar 4.4. Lokasi gangguan temperatur yang diberikan.

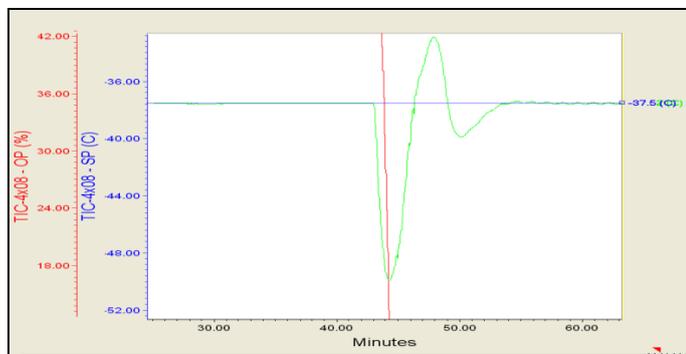
Gangguan Pada Aliran LNG u/s to TV-07

Profil model kontrol *PID* dan kontrol *FInc* karena adanya gangguan yang diberikan pada temperatur aliran LNG u/s to TV-07 dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.5 model kontrol *FInc* memberikan hasil yang berbeda dimana kontrol ternyata dapat menstabilkan sistem dengan baik sehingga dapat mencapai temperatur *set point* yang diinginkan.

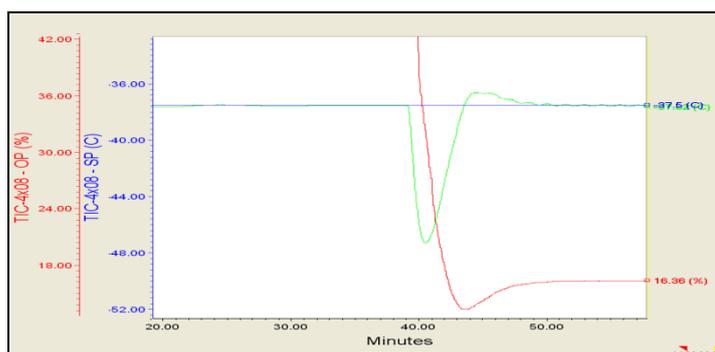
Pengujian dilanjutkan dengan menaikkan temperatur aliran menjadi -137 °C. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.6. dimana model kontrol *FInc* membutuhkan waktu yang lebih pendek untuk mengembalikan temperatur aliran ke *setpoint*.



Gambar 4.5. Grafik hasil pengujian model plant dengan memberikan gangguan menaikkan temperatur aliran LNG u/s TV-07 dari -143.8 °C menjadi -136.8 °C dengan menggunakan model kontrol *FInc* dengan $GCU=3.3$, $GE=0.8$ dan $GCE=400$



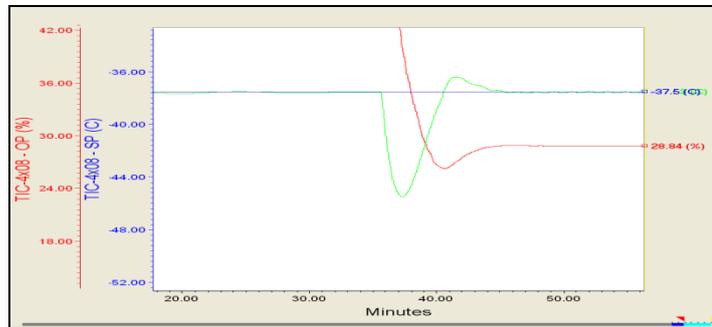
Gambar 4.6. Grafik hasil pengujian model plant dengan memberikan gangguan menaikkan temperatur aliran LNG u/s TV-07 dari $-143.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $-137\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan menggunakan model kontrol *FInc* dengan $\text{GCU}= 3.3$, $\text{GE}=0.8$ dan $\text{GCE}=400$



Gambar 4.7 Grafik hasil pengujian model plant dengan memberikan gangguan menaikkan temperatur aliran LNG u/s TV-07 dari $-143.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $-138\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan menggunakan model kontrol *FInc* dengan $\text{GCU}= 3.3$, $\text{GE}=0.8$ dan $\text{GCE}=400$

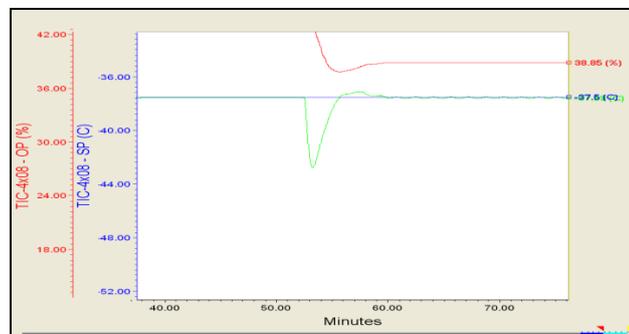
Pengujian dilanjutkan dengan menaikkan temperatur *setpoint* menjadi $-138\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.7 dimana model kontrol *FInc* masih dapat mengendalikan *plant* dengan baik walau sudah terlihat *overshoot* yang cukup tinggi.

Percobaan dilanjutkan dengan menaikkan *set point* menjadi $-139\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa kontrol *FInc* semakin besar mengalami *overshoot*.



Gambar 4.8. Grafik hasil pengujian model plant dengan memberikan gangguan menurunkan temperatur aliran LNG u/s TV-07 dari $-143.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $-139\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan menggunakan model kontrol FInc dengan $\text{GCU}= 3.3$, $\text{GE}=0.8$ dan $\text{GCE}=400$

Gangguan dilanjutkan dengan menaikkan temperatur *flow* menjadi $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.9. kontrol *FInc* semakin besar mengalami *overshoot*. *Overshoot* menyebabkan waktu untuk mencapai *setpoint* semakin lambat.



Gambar 4.9. Grafik hasil pengujian model plant dengan memberikan gangguan menurunkan temperatur aliran LNG u/s TV-07 dari $-143.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan menggunakan model kontrol FInc dengan $\text{GCU}= 3.3$, $\text{GE}=0.8$ dan $\text{GCE}=400$

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Pada pengujian model kontrol dengan variasi *setpoint* pada *range* temperatur yang kecil model kontrol *FInc* lebih cepat 2 menit /°C.
2. Kenaikan dan penurunan temperatur *setpoint* secara bertahap pada *range* temperatur yang besar, model kontrol *FInc* lebih cepat mencapai *setpoint* 1,41 menit.
3. Pada kenaikan dan penurunan temperatur secara drastis model kontrol *FInc* lebih cepat 0.89 menit mencapai *setpoint* dibandingkan kontrol PID
4. Kontrol *FInc* mempunyai kinerja yang lebih baik pada posisi *error* yang besar dan laju alir yang besar.

Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan penggunaan kombinasi kontrol *PID* dan kontrol *fuzzy* dalam mengendalikan system untuk memanfaatkan kelebihan masing-masing kontrol. Kontrol *FInc* bagus mengendalikan *error* yang besar tetapi kurang sensitif pada temperatur di dekat *setpoint* dan *flow* yang kecil dapat ditutupi oleh kontrol *PID* yang kurang mampu menstabilkan *error* yang besar tetapi baik dalam mengendalikan error dan flow yang kecil.

5. Daftar Pustaka

1. Abikusno, Mohammad, 2007, Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa dengan Menggunakan Kontrol PI Fuzzy untuk Beban Pembersih Kecambah, (Kontrol PI Fuzzy), Jurusan Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
2. Anoname, 2002, “*Fuzzy Logic Toolbox For Use With Matlab, Math Work Inc*”, 3 Apple Hill Drive, Natic, MA, 01760-2098.
3. Anoname, 1986, “*PT. Arun Operating Manual*”, PT. Trimita Yasa, Overseas Technical Service.
4. Anoname, 2003, “*Hysys Operations Guide*”, Hyprotech Aspen Technology, Inc.
5. Zadeh L. A., 1973, “*Outline of a New Approach to th Analysis of Complex Systems and Decision Processes*”, IEEE Trans. Systems, man and Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 1, pp.28-44
6. Groza, 2005, “*Fuzzy Expert Systems*”, Department of Computer Science Technical University of Cluj-Napoca.

7. Blanc, D, 2000, “Fuzzy Logic Application for Optimization of the cooling Tower Control System”, A John Wiley & Sons, INC., Publication.
8. Carr, Dave, dan Shearer, Jeff, 2007,” Non Linear Control And Decision Making Using Fuzzy Logic in Logix”, Rockwell Automation, Inc
9. Fuller, Robert, 2008, “*Fuzzy Logic Controllers – Tutorial, Institute for Advance Management System Research*”, Department of Information Technologies Faculty of Technology, Abo Academy University
10. Hill, G., Horskotte, E. and Teichrow, J. (1990) *Fuzzy-C development system – user’s manual*, Togai Infralogic, 30 Corporate Park, Irvine, CA 92714, USA.
11. Lunsford, Kevin, M, 1996, “*Advantages of Heat Exchanger in The Gas Processing Industry*”, Proceedings of the Seventy-Fifth GPA Annual Convention. Tulsa, Gas Processors, Association: 218-226.
12. Passino, K. M. and Yurkovich, S. (1998). “*Fuzzy Control*”, AddisonWesley Longman, Inc, Menlo Park, CA, USA
13. Vander Wal, A, J, 1995, “*Application of fuzzy logic control in industry*”, European Technical Centre, Omron Europe B. V. Zilverenberg 2,5234 GM “z-Hertogenbosc, Netherlandz.
14. Wheatley, Robb, 1998, “Example of External HYSYS Controllers in a DDE Server”, IFACE Group – rev 2, April 16.
15. Zadeh L. A., 1973, “Outline of a New Approach to th Analysys of Complex Systems and Decision Processes”, IEEE Trans. Systems, man and Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 1, pp.28-44
16. Zhang, H, 2006, “*Fuzzy Modelling and Fuzzy Control*”, Birkhauser Boston.
17. Blevins, L., Terrence, 2003, ”*Advance Control Unleashed:Plant Performance for Optimum Benefit*”, ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, USA.
18. Svrcek, W.Y, Mahoney, D.P, and Young, B.R, 2006, “*A Real-Time Approach to Process Control, Second Edition*”, John Wiley & Sons, LTD. ISBN: 978-0-470-02533-8
19. Ziegler, J. G. and Nichols, N. B., 1942, “*Optimum settings for automatic controllers*”. Trans. ASME, 64: 759.

20. Cohen, G. H. and Coon, G. A. , 1953, ”*Theoretical consideration of retarded control.* “, Trans. ASME, 75: 827.
21. Rivera, D. E., Morari, M. and Skogestad, 1986, “ *S. Internal model control, 4. PID controller Design*”, Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev, 25: 252.
22. McMillan, G. K. , 1999, “ *Process/Industrial Instruments and Controls Handbook*” , 5th edn. McGraw-Hill, New York, NY.
23. Fruehauf, P. S., Chien, I-L. and Lauritsen, M.D. , 1993, “*Simplified IMC–PID tuning rules*”, ISA, Paper 93–414, p. 1745.
24. Astrom, K. J. and Hagglund, T. , 1984 “Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplified margins. *Automatica*”, 20: 645.
25. Tyreus, B. D. and Luyben, W. L. , 1992, “Tuning of PI controllers for integrator/deadtime processes”, Ind. Eng. Chem. Res., 31: 2625.