



PERBANDINGAN PEMODELAN KONTROL *FUZZY* DAN *PID* PADA PEMANAS *FUEL GAS*

Nasrul ZA, Leni Maulinda

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 konvensional *PID* dalam mengontrol temperatur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa, pada pengujian model kontrol dengan variasi *setpoint* pada *range* temperatur yang kecil model kontrol *FInc* lebih cepat 1.05 menit $/^{\circ}\text{C}$ untuk mencapai *setpoint* dibandingkan model kontrol *PID*. Kenaikan dan penurunan temperatur *setpoint* secara bertahap pada *range* temperatur yang besar model kontrol *FInc* lebih cepat mencapai *setpoint* 0.164 menit $/^{\circ}\text{C}$ dibandingkan model kontrol *PID*. Pada kenaikan dan penurunan temperatur secara drastis model kontrol *FInc* lebih cepat 0.13 menit mencapai *setpoint* dibandingkan kontrol *PID*. Kontrol *FInc* mempunyai kinerja yang lebih baik pada posisi *error* yang besar dan laju alir yang besar, sebaliknya kontrol *PID* pada posisi *error* yang kecil dan laju alir yang kecil memiliki kinerja yang sangat baik.

Kata kunci: Logika *Fuzzy*, *PID*, *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*.

Studi lain yang telah dilakukan adalah metode disain yang menggunakan kombinasi kontrol PID klasik dengan *fuzzy*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan variasi proses, hasilnya memberikan respon system yang lebih baik pada kondisi transient dan steadystate bila dibandingkan dengan kontrol *fuzzy* murni atau PID murni (Erenoglu, 2005)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional plus integral plus differensial (*kontroler PID*). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghasilkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

Luasnya penggunaan kontrol PID pada dasarnya dilatarbelakangi beberapa hal, diantaranya:

- Kesederhanaan struktur kontrol: Selain hanya ada tiga parameter utama yang perlu diatur atau dilakukan usaha penalaan (*tuning*), pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap dinamika pengontrolan secara intuitive mudah dipahami oleh operator.

- Kontrol PID memiliki sejarah yang panjang. Dalam hal ini PID telah digunakan jauh sebelum era digital berkembang (yaitu sekitar tahun 1930-an).
- Kontrol PID dalam banyak kasus telah terbukti menghasilkan unjukkerja relative memuaskan, baik digunakan sebagai sistem Regulator (sistem kontrol dengan Setpoint konstan dan beban cenderung berubah-ubah) maupun sebagai sistem Servo (sistem kontrol dengan Setpoint yang berubah dan beban cenderung konstan).

Pada sistem yang ditinjau ini, telah digunakan sistem kendali konvensional *PID* yang berfungsi untuk mengontrol temperatur *fuel gas* yang menuju kompresor K4x04. Kontrol PID ini sudah bekerja dengan baik yaitu 2 menit untuk mengembalikan temperatur proses ke *setpoint* bila terjadi perubahan temperatur sebesar 1°C.

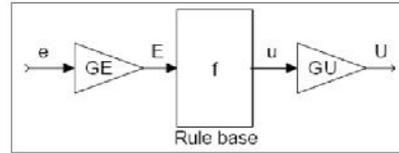
Teknik kendali *fuzzy* dapat digunakan untuk meningkatkan unjuk kerja kendali industri. Kendali *fuzzy* dapat bekerja dengan baik dan telah mencapai popularitas yang membanggakan pada pabrik yang bekerja dengan sistem otomatis dan lebih jauh lagi dalam proses industri. Pengembangan prototipe dapat dilakukan 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:

1. Kontrol *Fuzzy* Proporsional

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

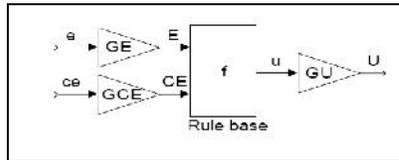


Gambar 1. Kontrol *Fuzzy* Proporsional (*FP*) (Jantzen, 1998)

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

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

2. 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 non linear dari *error* dan *change in error*:

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

3. Kontrol Fuzzy Incremental (FInc)

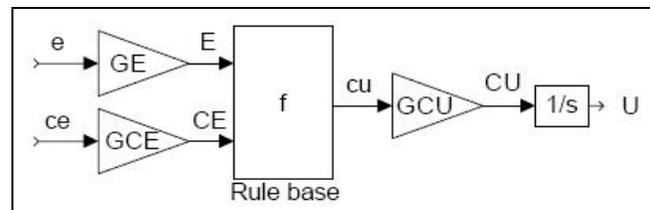
Kalau ada *error* yang bertahan pada kondisi *steady state*, aksi integral dapat digunakan untuk mengatasinya. Aksi integral akan menaikkan sinyal kontrol jika ada *small positive error*, tidak masalah seberapa kecilnya error tersebut, aksi integrasi akan menaikkan jika *error* tersebut adalah *negative*.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

$$u_n = u_{n-1} + \Delta u_n \Rightarrow \tag{2.41}$$

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

$$U_n = \sum_i (cu_i * GCU * T_s) \tag{3}$$



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

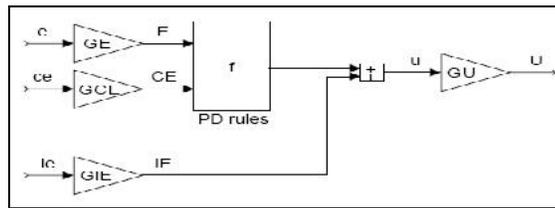
Dimana $U_n = \sum(GCU * cu_i)$, bedanya adalah periode sample T_s .

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

4. 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.

$$ie_n = \sum_i (e_i * T_s) \quad (5)$$



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

sekarang kontrol telah memiliki tiga input:

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

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

$$GE * GU = K_p \quad (7)$$

$$\frac{GCE}{GE} = T_d \quad (8)$$

$$\frac{GIE}{GE} = \frac{1}{T_i} \quad (9)$$

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*

<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>

Sumber: Jantzen (1998)

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

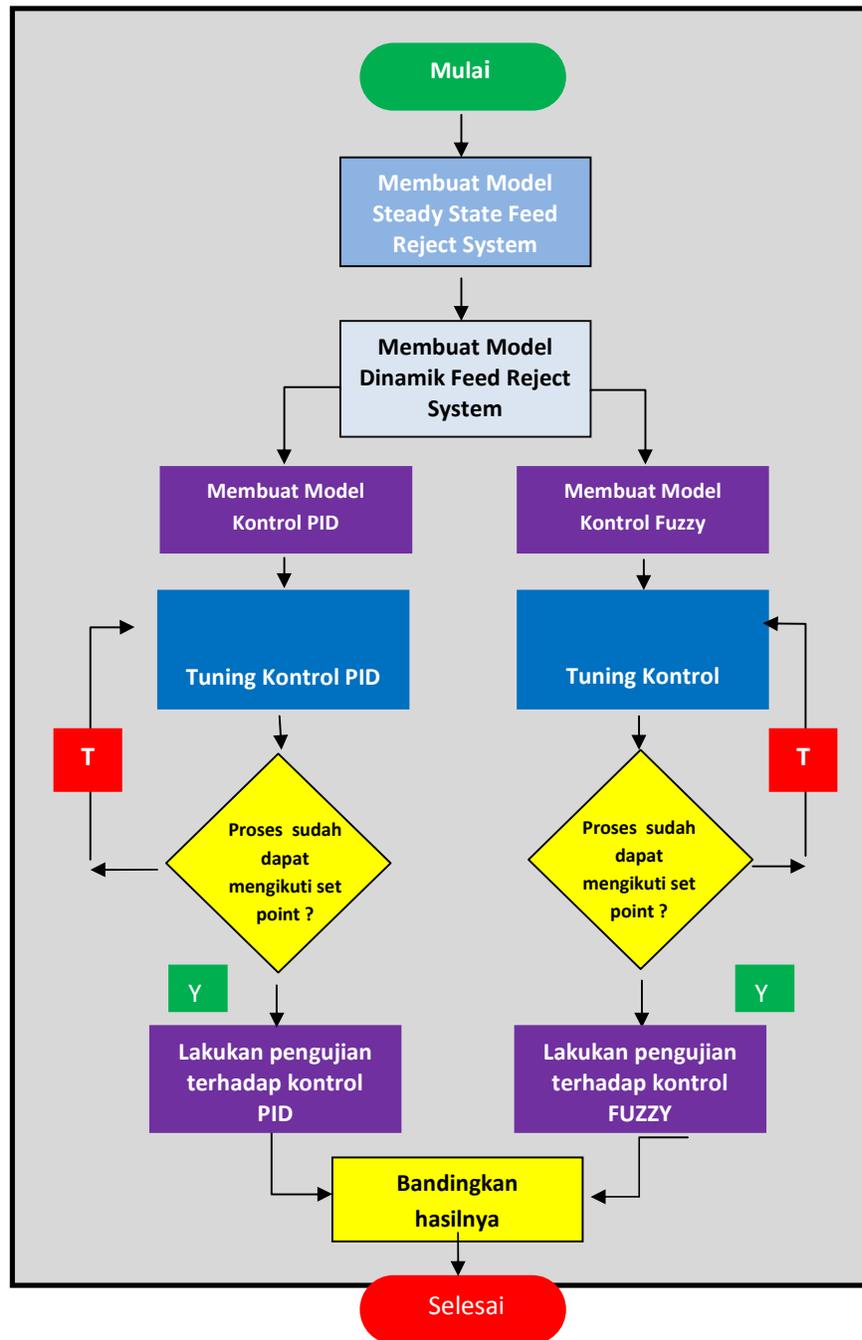
Peralatan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

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 perbandingan unjuk kerja antara kontrol konvensional PID yang dipasang pada TIC-4x08 dengan kontrol *fuzzy incremental* yang juga dipasang pada kontrol TIC-4x08 dalam

merespon gangguan yang diberikan pada proses. Gambar 1. adalah bagan alir langkah penelitian yang dilakukan.



Gambar 5. Bagan Alir Langkah Penelitian

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Pengujian Model Kontrol Dengan Variasi Set point Pada Range Temperatur -36.5 °C, -37.5 °C, dan -38.5 °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 Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian unjuk kerja model kontrol *PID* dan model kontrol *Fuzzy Incremental* pada model dinamis sistem *feed reject* PT. Arun pada rentang temperatur dari -38.5°C sampai dengan -36.5°C dibandingkan dengan data *real plant*.

No	Temperatur Setpoint (Celcius)		Selisih Waktu (menit)	Data Real Plant		PID Model		Fuzzy Model	
	Dari (°C)	Ke (°C)		Waktu (menit)	Rata-rata (menit / Celcius)	Waktu (menit) Kc=17.9 , Ti=2.67 , Td=0.0872	Rata-rata (menit / Celcius)	Waktu (menit)	Rata-rata (menit / Celcius)
1	-37.5	-38.5	1	2	2	3	6	2	6
2	-38.5	-37.5	1	2	2	3.5	7	3	4
3	-37.5	-36.5	1	2	2	3.3	6.6	3	5
4	-36.5	-37.5	1	2	2	3.3	6.6	3	4.2
Waktu Rata-Rata / Celcius					2		6.55		5.5

Tabel 2. menunjukkan kinerja model kontrol *PID* dan *Fuzzy Incremental* dibandingkan dengan data kontrol pada *real plant* untuk beberapa temperatur *set point*. Dari hasil pengamatan Tabel 2. dapat dilihat waktu yang dibutuhkan oleh *real plant* untuk mencapai *set point* rata-rata 2 menit per derajat Celcius. Hal ini

menunjukkan model kontrol PID mencapai temperature *set point* lebih lambat dengan waktu rata-rata 6.55 menit per derajat Celcius dibandingkan dengan data *real plant*. Mengingat *real plant* data juga menggunakan kontrol PID maka seharusnya hasil yang diperoleh dari model mendekati data *real plant*. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan pada saat membangun *model plant*, pengisian parameter *Zona LNG Exchanger* dilakukan dengan *trial* karena data parameter isian untuk *Zona* pada *real plant* tidak ditemukan.

Dari Tabel 2. juga dapat diambil kesimpulan bahwa model kontrol *Fuzzy Incremental* juga mencapai temperatur *set point* lebih lambat dengan waktu rata-rata 5.5 menit per derajat Celcius dibandingkan dengan data *real plant*. Seperti halnya model kontrol PID, perbedaan ini kemungkinan disebabkan pada saat membangun *model plant*, pengisian parameter *Zona LNG Exchanger* dilakukan dengan *trial* karena data parameter isian untuk *Zona* pada *real plant* tidak ditemukan. Sementara itu, dari nilai rata-rata waktu yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa model kontrol *Fuzzy Incremental* lebih cepat 1.05 menit per derajat Celcius untuk mencapai temperatur *set point* dibandingkan dengan model kontrol *PID*.

3.2 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.

Tabel 3. Hasil pengujian unjuk kerja kontrol *PID* dan kontrol *Fuzzy Incremental* pada model dinamis sistem *feed reject* PT. Arun dengan rentang temperatur dari -36.5°C hingga -20°C , variasi kenaikan/penurunan secara bertahap.

No	Temperatur		Selisih Tempera tur	PID Model		Fuzzy Model	
	Setpoint (Celcius)			Waktu (menit)	Rata-rata (menit /Celcius)	Waktu (menit)	Rata-rata (menit/Celcius)
	Dari	Ke					
1	-37.5	-30	7.5	15	2	8.2	1.09
2	-30	-25	5	8	1.6	8.8	1.76
3	-25	-20	5	12	2	6.5	1.3
4	-20	-25	5	6	1.2	7	1.4
5	-25	-30	5	6.2	1.24	9.5	1.9
6	-30	-37.5	7.5	9	1.2	8	1.06
Waktu Rata-Rata / Celcius					1.574		1.41

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa bila dilakukan kenaikan dan penurunan temperatur *set point* secara bertahap pada *range* -37.5°C hingga -20°C model kontrol *PID* membutuhkan waktu rata-rata sekitar 1.574 menit/ $^{\circ}\text{C}$ untuk mencapai temperature *set point*. Sementara itu, untuk kasus yang sama kontrol *Fuzzy Incremental* membutuhkan waktu rata-rata 1.41 menit/ $^{\circ}\text{C}$ untuk mencapai temperature *set point*. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa waktu rata-rata untuk model kontrol *FInc* lebih cepat 0.164 menit daripada model kontrol *PID* bila dilakukan penaikan dan penurunan temperatur *set point* secara bertahap.

Tabel 4. menunjukkan perbandingan kinerja model kontrol *PID* dan *Fuzzy Incremental* untuk beberapa temperatur *set point* dengan menaikkan dan menurunkan temperatur *set point* secara drastis. Dari hasil pengamatan pada Tabel 4 dapat dilihat pada kenaikan dan penurunan temperatur *set point* secara drastis

pada range -45 hingga -20°C kontrol *FInc* membutuhkan waktu rata-rata 0.89 menit untuk mencapai temperatur *set point*, sedangkan kontrol *PID* membutuhkan waktu 0.76 menit/°C untuk mencapai temperatur *set point*. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa model kontrol *FInc* lebih cepat 0.13 menit daripada model kontrol *PID*.

Tabel 4. Hasil pengujian dengan diberikan gangguan pada *plant* berupa kenaikan dan penurunan temperatur *set point* secara drastis

No	Temperatur Setpoint (Celcius)		Selisih	PID Model		Fuzzy Model	
	Dari	Ke		Waktu (menit)	Rata-rata (menit /Celcius)	Waktu (menit)	Rata-rata (menit /Celcius)
1	-37.5	-40	7.5	11	1.46	9	1.2
2	-40	-20	25	15.6	0.62	15.6	0.62
3	-20	-40	25	15	0.6	12.2	0.48
Waktu Rata-Rata / Celcius					0.89		0.76

3.3 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 %.

3.3.1 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 Tabel 5. Dari hasil pengamatan pada Tabel 4.4 dapat dilihat pengaruh gangguan yang diberikan pada temperatur aliran LNG u/s TV-07 dengan 4 kali pengujian pada range temperatur -136.8 °C sampai dengan -140 °C sebagai berikut:

1. Pada saat diberi gangguan dengan menaikkan temperatur dari -143.8 C ke -136.8 °C, model kontrol *PID* tidak mampu menstabilkan sistem, model kontrol *Fuzzy Incremental (FInc)* dapat menstabilkan sistem.
2. Pada pengujian ke dua, model kontrol *FInc* masih dapat mengendalikan temperatur dengan baik, dan model kontrol *PID* sudah mulai dapat mengendalikan temperatur.
3. Pada gangguan temperatur -138 °C kedua jenis kontrol dapat mengembalikan proses ke setpoint, dan kecepatan model kontrol *PID* hampir sama dengan kecepatan model kontrol *FInc* hanya selisih 0.5 menit model kontrol *FInc* lebih cepat.

Tabel 5. Hasil pengujian dengan diberikan gangguan pada *plant* berupa kenaikan dan penurunan temperatur aliran pada LNG u/s TV-07

No	Temperatur Flow Rate LNG u/s TV-07 Setpoint (Celcius)			PID Model	Fuzzy Model		
	Dari (°C)	Ke (°C)	Selisih		Waktu (menit)	Rata-rata	Rata-rata
				Waktu (menit) Kc=17.9 , Ti=2.67 , Td=0.0872	GU= 3.3, GE=0.8 , GCE=400		
1	-143.8	-136.8	7	Tidak Stabil		7.4	1.06
2	-143.8	-137	6.8	24	3.53	11.2	1.65
3	-143.8	-138	5.8	10.5	1.81	10	1.72
4	-143.8	-139	4.8	8	1.67	9.2	1.92
5	-143.8	-140	3.8	5.9	1.55	7.1	1.87

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin temperatur mendekati -148.3°C kecepatan kontrol PID semakin cepat dan kecepatan model kontrol fuzzy akan semakin berkurang. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari hasil pengamatan di atas dapat disimpulkan pada kontrol *Fuzzy Incremental* jika semakin besar *error* yang terjadi semakin bagus unjuk kerjanya. Sebaliknya dengan kontrol PID, semakin besar error maka semakin kurang bagus unjuk kerjanya.

3.3.2 Gangguan Diberikan Pada Temperatur aliran 5% Gas to E-19

Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5. Dari hasil pengamatan pada Tabel 5 dapat dilihat respon model kontrol PID terhadap gangguan yang diberikan pada temperatur aliran 5% Gas to E19. Gangguan yang diberikan adalah berupa kenaikan dan penurunan temperature *set point*. Waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh model kontrol *PID* adalah 0.09 menit/ $^{\circ}\text{C}$, sedangkan model kontrol fuzzy adalah 0.4 menit/ $^{\circ}\text{C}$. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa untuk menstabilkan *plant* model kontrol *PID* lebih cepat dibandingkan model kontrol *Fuzzy Incremental*.

Tabel 6. Hasil pengujian dengan diberikan gangguan pada *plant* berupa kenaikan dan penurunan temperatur *flowrate* pada 5% Gas to E19

No	Temperatur Flow Rate LNG u/s TV-07 Setpoint (Celcius)		PID Model			Fuzzy Incremental Model	
	Dari ($^{\circ}\text{C}$)	Ke ($^{\circ}\text{C}$)	Selisih ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu (menit) Kc=17.9 , Ti=2.67 , Td=0.0872	Rata-rata	Waktu (menit)	Rata-rata
						GU= 3.3, GE=0.8 , GCE=400	
1	-32.5	-10	22.5	0.8	0.03	4	0.17
2	-32.5C	-22.5	10	1.1	0.11	4.5	0.45
3	-32.5	-40	7.5	1	0.13	4.5	0.6
Rata-rata					0.09		0.4

Bila dilihat dari lokasi gangguan yang diberikan, terlihat bahwa kontrol FInc memberikan kinerja yang baik dalam mengontrol temperatur aliran LNG u/s TV-07 terutama pada posisi error yang besar, dan pada aliran 5% Gas to E19 tidak sekalipun menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada model kontrol PID.

Bila dilihat dari laju alir pada LNG u/s TV-07 besarnya adalah 7.221 kg mol /hr dan laju alir 5% Gas to E19 besarnya hanya 151.2 kg mol /hr terjadi perbedaan sensitifitas antara kontrol PID dan kontrol FInc. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perbedaan laju alir yang besar sangat mempengaruhi sensitifitas kontrol. Kontrol fuzzy incremental lebih sensitif pada laju alir yang besar dibandingkan kontrol PID yang lebih sensitif pada laju alir yang kecil.

4.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 1.05 menit / $^{\circ}\text{C}$ mencapai *setpoint* dibandingkan dengan model kontrol PID. Penggunaan trial Zone karena kurang lengkapnya data pada saat membuat model LNG Exchanger menyebabkan terjadinya perbedaan pada kecepatan model kontrol PID dengan data *real plant* kontrol PID dalam mencapai *setpoint*.
2. Kenaikan dan penurunan temperatur *setpoint* secara bertahap pada *range* temperatur yang besar, model kontrol *FInc* lebih cepat mencapai *setpoint* 0.164 menit dibandingkan model kontrol *PID*.
3. Pada kenaikan dan penurunan temperatur secara drastis model kontrol *FInc* lebih cepat 0.13 menit mencapai *setpoint* dibandingkan kontrol PID
4. Kontrol FInc mempunyai kinerja yang lebih baik pada posisi *error* yang besar dan laju alir yang besar, sebaliknya kontrol *PID* pada posisi error yang kecil dan laju alir yang kecil memiliki kinerja yang sangat baik.

5. Daftar Pustaka

- 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.
- Anoname, 2002, “Fuzzy Logic Toolbox For Use With Matlab, Math Work Inc”, 3 Apple Hill Drive, Natic, MA, 01760-2098.
- Anoname, 1986, “PT. Arun Operating Manual”, PT. Trimita Yasa, Overseas Technical Service.
- Anoname, 2003, “Hysys Operations Guide”, Hyprotech Aspen Technology, Inc.
- Zadeh L. A., 1973, “Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes”, IEEE Trans. Systems, man and Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 1, pp.28-44
- Groza, 2005, “Fuzzy Expert Systems”, Department of Computer Science Technical University of Cluj-Napoca.
- Blanc, D, 2000, “Fuzzy Logic Application for Optimization of the cooling Tower Control System”, A John Wiley & Sons, INC., Publication.
- Carr, Dave, dan Shearer, Jeff, 2007, “Non Linear Control And Decision Making Using Fuzzy Logic in Logix”, Rockwell Automation, Inc.
- Fuller, Robert, 2008, “Fuzzy Logic Controllers – Tutorial, Institute for Advance Management System Research”, Department of Information Technologies Faculty of Technology, Abo Academy University.
- Hill, G., Horskotte, E. and Teichrow, J. (1990) Fuzzy-C development system – user’s manual, Togai Infralogic, 30 Corporate Park, Irvine, CA 92714, USA.
- 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.
- Passino, K. M. and Yurkovich, S. (1998). “Fuzzy Control”, AddisonWesley Longman, Inc, Menlo Park, CA, USA
- Vander Wal, A, J, 1995, “Application of fuzzy logic control in industry”, European Technical Centre, Omron Europe B. V. Zilverenberg 2,5234 GM “z-Hertogenbosch, Netherlandz.

- Wheatley, Robb, 1998, "Example of External HYSYS Controllers in a DDE Server", IFACE Group – rev 2, April 16.
- 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
- Zhang, H, 2006, "Fuzzy Modelling and Fuzzy Control", Birkhauser Boston.
- L.Blevins, Terrence, 2003, "Advance Control Unleashed:Plant Performance for Optimum Benefit", ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, USA.
- 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
- Ziegler, J. G. and Nichols, N. B., 1942, "Optimum settings for automatic controllers". Trans. ASME, 64: 759.
- Cohen, G. H. and Coon, G. A. , 1953, "Theoretical consideration of retarded control. ", Trans. ASME, 75: 827.
- Rivera, D. E., Morari, M. and Skogestad, 1986, " S. Internal model control, 4. PID controller Design", Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev, 25: 252.
- McMillan, G. K. , 1999, " Process/Industrial Instruments and Controls Handbook" , 5th edn. McGraw-Hill, New York, NY.
- Fruehauf, P. S., Chien, I-L. and Lauritsen, M.D. , 1993, "Simplified IMC–PID tuning rules", ISA, Paper 93–414, p. 1745.
- Astrom, K. J. and Hagglund, T. , 1984 "Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplified margins. Automatica", 20: 645.
- Tyreus, B. D. and Luyben, W. L. , 1992, "Tuning of PI controllers for integrator/deadtime processes", Ind. Eng. Chem. Res., 31: 2625.