

# Sistem Pengendali Suhu Tangki Pengaduk Dengan Fuzzy Logic dan PID Berbasis Matlab

Wikamdani<sup>1</sup>, Nanang Mulyono<sup>2</sup>, Dwi Septiyanto<sup>2</sup>

1,2,3 Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung  
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga 40012, Bandung, Indonesia  
Wikamdani.toil7@polban.ac.id

---

## Abstrak

Reaktor tangki pengaduk kontinyu (RTPK) merupakan alat yang digunakan untuk mencampurkan dua atau lebih bahan (Subtrat) agar menjadi sebuah produk baru. Alat ini berperan penting pada industry kimia. Suhu merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Penelitian ini mendiskusikan sistem pengendalian suhu RTPK. Tujuan penelitian adalah suhu RTPK dapat dikendalikan dan mencapai *steady state*. pengendali yang digunakan adalah PID dengan metode tuning zigler nichols. Selain itu, dibahas juga pengendali fuzzy untuk memperbaiki hasil pengendalian menggunakan pengendali PID. Pada hasil pengujian didapatkan hasil pengendalian suhu dengan fuzzy logic lebih baik dibandingkan dengan PID. Pengendali PID dan logika fuzzy yang dibuat dapat mengendalikan suhu reactor namun pengendali logika fuzzy memiliki respon yang lebih baik.

**Kata kunci:** Fuzzy Logic Control, PID, Reaktor, Kontrol Suhu

---

## I. PENDAHULUAN

Reaktor tangki pengaduk kontinyu merupakan alat yang digunakan untuk mencampurkan dua atau lebih bahan (Subtrat) agar menjadi sebuah produk baru. RTPK ini menggunakan prinsip pemanas untuk melakukan reaksi secara serempak pada skala kecil sehingga dapat menghasilkan material baru. Material baru ini tercipta dari dua material atau lebih yang di masukan pada tangki ini dengan komposisi yang ditentukan. Mengingat pentingnya suhu pada alat ini maka dibutuhkan suatu pengendalian suhu yang efektif dan tepat agar proses pemanasan dapat berlangsung sempurna. Dalam penelitian ini menggunakan sistem kendali logika fuzzy untuk diterapkan pada alat pengendali. Metode fuzzy akhir-akhir ini banyak di terapkan di berbagai bidang seperti memprediksi harga saham, produksi pertanian, prediksi arus penumpang dan masih banyak yang lainnya. Oleh karena banyak pengendalian yang berhasil diterapkan diberbagai bidang, untuk penelitian kali ini kendali logika fuzzy dipilih untuk mengendalikan suhu pada reaktor alir tangki berpengaduk. Pengendalian suhu pada reaktor alir ini merupakan sistem keamanan dan menjadi factor penambah produktifitas. Bila suhu naik tanpa pengendalian bisa jadi produk menjadi gagal produksi dan reaktor rusak. Didasari penjelasan di atas, di buatlah suatu model yang

bertujuan mengendalikan suhu pada reaktor alir tangki berpengaduk.

Reaktor Tangki Pengaduk kontinyu (RTPK) adalah peralatan terpenting dan sentral di banyak industri kimia dan biokimia, yang menunjukkan dinamika nonlinier kompleks orde dua. Dinamika nonlinier RTPK menimbulkan banyak tantangan desain dan pengendali [1]. Hurtado dalam penelitiannya melakukan pemodelan numerik RTPK untuk penguraian anaerobik dilakukan. Parameter yang relevan seperti distribusi waktu tinggal, kecepatan dan intensitas turbulensi aliran sungai dan volume aktif di RTPK dipelajari dalam kondisi operasi nominal instalasi pengolahan air limbah. Pengaruh daya pencampuran, konfigurasi sirkuit resirkulasi dan rezim pencampuran volume aktif RTPK telah dianalisis [2]. Banyak yang telah melakukan penelitian model dinamik system pemanas tangki seperti oleh Thornhill [3], Wahid [4], dan Gao [5]. Pengendalian pemanas reaktor tangki alir berpengaduk ini banyak modelnya seperti menggunakan pengendali PID oleh seghal [6], Kabila [7], dan Caroline [8]. Adapun yang menggunakan DMC dilakukan oleh Ali [9], dan Laszczyk [10]. Adapun menggunakan metode optimasi oleh Jibril [11] dan menggunakan pengendali fuzzy oleh Ramli [12].

Tujuan penelitian ini adalah mengendalikan suhu RTPK dengan pengendali PID dan aturan penyadapan Ziegler Nichols. Kriteria pengendalian

tersebut yaitu memiliki steady-state error 5%. Selain itu, dilakukan juga pengendalian suhu RTPK dengan logika fuzzy metode mamdani. Diharapkan, hasil pengendalian menggunakan logika fuzzy lebih baik dari pada PID. System pengendalian suhu tersebut disimulasikan menggunakan mantal.

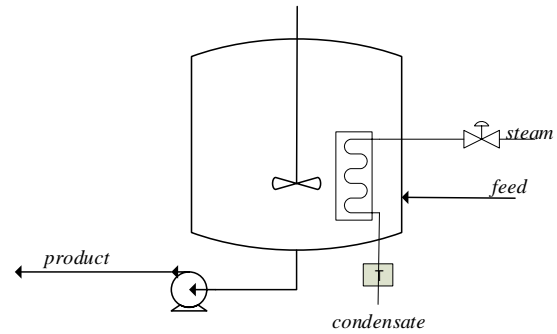
## II. TANGKI REAKTOR

### A. Model Tangki Reaktor

Skema sistem RTPK telah dimodelkan oleh [13], [14] dengan prinsip kesetimbangan energi dan massa. Sistem tersebut merupakan sistem nonlinear. Model linear dari sistem tersebut yang dilinearisasi pada titik kerja dan diformulasikan dalam domain frekwensi seperti (1) hingga (5) dan diagram bloknya di ilustrasikan seperti gambar 2. Variabel-variabelnya dijelaskan sebagai berikut

1.  $T$  merupakan temperatur uap-panas fungsi frekwensi dengan satuan [°F]
2.  $W$  merupakan laju uap panas dengan satuan [lb/min]
3.  $T_i$  merupakan temperatur subtract [°F]
4.  $\bar{T}$  merupakan temperature subtrat pada titik kerja [°F]
5.  $\bar{f}$  merupakan aliran subtrat pada titik kerja [ft<sup>3</sup>/min]
6.  $\rho$  merupakan kerapatan subtrat [lb/ft<sup>3</sup>]
7.  $c_p$  merupakan kapasitas panas subtrat [BTU/lb °F]
8.  $V$  merupakan volume tangki [ft<sup>3</sup>]
9.  $U$  merupakan koefisien transfer panas [BTU/min ft<sup>2</sup> °F]
10.  $A$  merupakan luas sisi luar koil [ft<sup>2</sup>]
11.  $CM$  merupakan kapasitansi panas dari koil [BTU/°F]
12.  $\lambda$  merupakan Panas laten penguapan [Btu/lb]
13.  $\alpha$  adalah parameter jangkauan [-]

Skema system RTPK bias dilihat pada gambar 1. Merupakan reaktor tunggal berpengaduk yang diberi koil untuk mengalirkan steam sebagai pemanas dari reactor. Bahan yang di reaksiakan dalam reaktor mengalir secara kontinyu



Gambar 1 Skema sistem reaktor pengaduk kontinyu

$$T(s) = \frac{K_F}{\tau s + 1} F(s) + \frac{K_S}{\tau s + 1} T_s(s) \quad (1)$$

$$T_s(s) = \frac{1}{\tau_c s + 1} T(s) + \frac{K_W}{\tau_c s + 1} W(s) \quad (2)$$

$$\tau = \frac{V \rho c_p}{UA + f \rho c_p} \quad \tau_c = \frac{CM}{UA} \quad (3)$$

$$K_F = \frac{\rho c_p (T_i - \bar{T})}{UA + f \rho c_p} \quad (4)$$

$$K_S = \frac{UA}{UA + V \rho c_p} \quad K_S = \frac{\lambda}{UA} \quad (5)$$

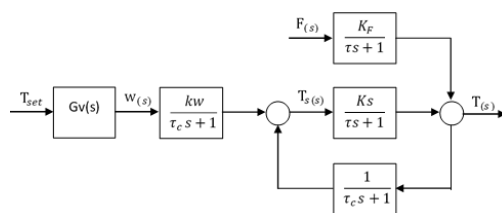
Karakteristik aliran dari control valve didefinisikan sebagai hubungan antara aliran yang melalui valve dan posisi valve. Posisi tersebut bervariasi dari 0% s/d 100%. Karakteristik valve tersebut dibedakan menjadi 3 jenis yaitu quick opening, linear dan equal persentage. Fungsi alih untuk equal percentage valve dengan drop tekanan konstan, seperti (6) dan (7)

$$G_v(s) = \frac{W(s)}{M(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} \quad (6)$$

$M(s)$  merupakan sinyal keluaran dari pengendali dalam persen dan gain katup dihitung dengan (7)

$$K_v = \frac{\bar{w}(\ln \alpha)}{100} \quad (7)$$

pada gambar dibawah  $F(s)$  merupakan aliran bahan yang masuk atau dalam penelitian ini merupakan gangguan suhu dalam reactor.  $T_{set}$  merupakan suhu tetapan pada tangki dengan merubah masukan steam pada coil.

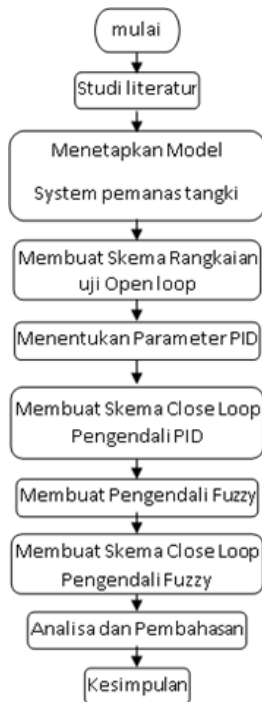


Gambar 2 Blok diagram RTPK

### III. METODOLOGI

Gambar 3 menunjukkan blok diagram penelitian dimulai dari mencari bahan bacaan sebagai referensi mengenai pemanas RTPK dan sistem pengendali. menetapkan model sistem pemanas yang telah dibuat oleh smith dalam penelitiannya seperti pada skema rtpk pada gambar 1 dan dibuat kedalam bentuk blok diagram pada simulink matlab.

Perancangan Pengendali PID dengan melakukan pengujian seperti gambar 5 di buat untuk menentukan parameter PID nilai keluaran berupa bukaan valve yang diperlukan untuk mengatur suhu reaktor. Perancangan pengendali fuzzy dibuat dengan rules seperti pada tabel 1 dan variabel input berupa error dan delta error serta output berupa bukaan valve 0% hingga 100% masukan uap panas ke dalam jaket temperatur. Skema sistem RTPK bila dihubungkan dengan pengendali seperti gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 3 Diagram alir penelitian

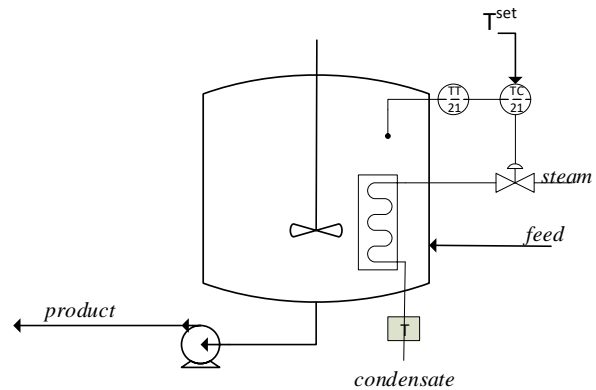
#### A. Sistem Close Loop dari RTPK

Skema RTPK pada gambar 1 dihubungkan dengan alat pengendali memerlukan sensor dan transmitter sebagai masukan dari alat pengendali. Keluaran dari pengendali yakni bukaan katup uap panas yang masuk ke jaket temperature. Sensor dan transmitter dapat dimodelkan seperti (8), (9)

$$H(s) = \frac{C(s)}{T(s)} = \frac{K_T}{\tau_p s + 1} \quad (8)$$

Dimana C(s) adalah transformasi Laplace dari sinyal keluaran transmitter, %TO, dan penguatan transmitter adalah

$$K_T = \frac{100-0}{200-100} = 1.0 \frac{\%TO}{^\circ F} \quad (9)$$



Gambar 4 Skema sistem reaktor pengaduk kontinu dengan pengendali

Ditetapkan parameter-parameter sebagaimana pada tabel 1. Parameter ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh moch hafid.

Tabel 1. Parameter Pemanas Tangki Pengaduk kontinu

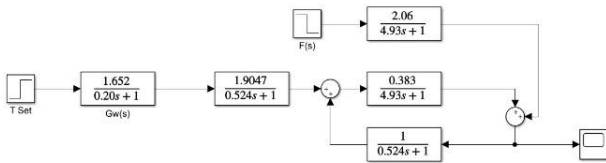
No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1.	Heat Transfer Area	A	22,3	m <sup>2</sup>
2.	Heat Capacity of Coil	C <sub>m</sub>	265,7	Btu/°F
3.	Gain Flow	K <sub>F</sub>	2.06	°F/(ft <sup>3</sup> /m in)
4.	Gain Seam	K <sub>S</sub>	0.383	°F/(ft <sup>3</sup> /m in)
5.	Koef. Transfer Panas overall	U	2,1	Btu/lb.°F
6.	Transmitter time constant	τ <sub>T</sub>	4500	Sec
7.	Valve time constant	τ <sub>V</sub>	120	Sec
8.	Penguatan aliran steam	K <sub>W</sub>	1,905	°F/(ft <sup>3</sup> /m in)
9.	Gain valve	K <sub>V</sub>	1,652	(lb/min)/%CO
10.	Gain transmitter	K <sub>T</sub>	1,0	%TO/°K
11.	Constant	τ	295,8	Sec

#### B. kendali PID

Pengendali PID merupakan pengendali kontinu yang mengukur nilai kesalahan antara setpoint dengan nilai yang di ukur dalam penelitian ini nilai ukurnya yakni suhu pada tangki. Ziegler Nichols

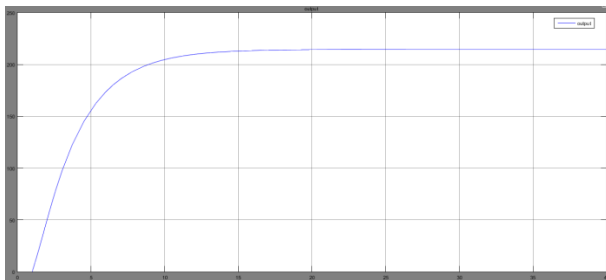
telah membuat aturan untuk menyetel PID, salah satunya ialah metode kurva reaksi.

Parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) yang digunakan didapat dari metode kurva reaksi. Pertama, melihat respon loop terbuka plant tanpa kendali sebagai berikut. Berdasarkan Gambar 4 yang telah di beri parameter sesuai dengan Tabel 1 maka dihasilkan diagram blok sistem pemanas seperti pada gambar 5. Valve akan di beri masukan 100% bukaan dan diberi inlet flow sebesar 110 ft<sup>3</sup>/min, lalu diamati grafik keluarannya.



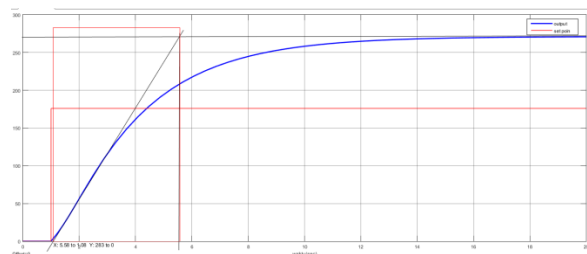
Gambar 5 Diagram blok open loop

Setelah membuat dan me *running* diagram gambar 5 pada aplikasi matlab, maka diperoleh Gambar 6 sebagai grafik open loop dari system RTPK



Gambar 6 Grafik Open Loop

Dari gambar 6 diketahui bahwa  
 Steady state = 214,6 °F  
 Time Steady state = 28,6 s  
 Td = 3,3 s  
 Tr = 6,42 s



Gambar 7 Grafik Open Loop, Metode Kurva Reaksi

Dari Gambar 6 di buat garis yang bersinggungan dengan garis kurva dan garis singgung ini memotong garis maksimum kurva seperti pada Gambar 7. Dari Gambar 7 diketahui bahwa waktu mati  $L = 1,17$  dan waktu tunda  $T = 4,36$ . Selanjutnya parameter dihitung berdasarkan rumus (10) perhitungan metode

kurva reaksi Ziegler-Nichols. maka diketahui parameternya pada rumus (11).

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} \quad K_i = 2L \quad K_d = 0,5 L \quad (10)$$

$$K_p = 1,2 \frac{4,36}{1,17} \quad K_i = 2 \times 1,17 \quad K_d = 0,5 \times 1,17$$

$$K_p = 4,46 \quad K_i = 2,34 \quad K_d = 0,58 \quad (11)$$

### C. Kendali fuzzy

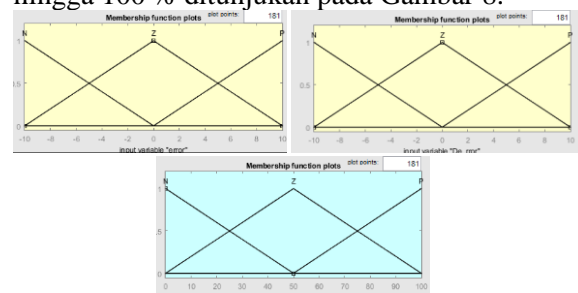
Perancangan kendali logika fuzzy ini meliputi fuzzyfikasi, penentuan *rules*, dan defuzzyfikasi. Sistem inferensi fuzzy yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah sistem fuzzy Mamdani. Sistem Mamdani dipilih karena dianggap lebih efisien untuk kendali suhu dibandingkan sistem fuzzy sugeno ataupun Tsukamoto.

Proses Fuzzyfikasi dan penentuan dari nilai crisp ke nilai fuzzy dilakukan dengan cara membandingkan Error dengan delta error. Dimana error didapatkan dari selisih antara set point (nilai suhu reaktor yang diinginkan) dengan Present Value (nilai yang terbaca alat ukur). Sedangkan delta error merupakan selisih dari error t dengan error t-1. Output dari fuzzy logic ini yakni bukaan valve untuk mengalirkan steam ke jaket temperature.

Tabel 1 Rules kendali logika fuzzy

		Error		
		Negatif	Zero	Positif
Delta Error	Negatif	Sempit	Sempit	Medium
	Zero	Sempit	Medium	Lebar
	Positif	Medium	Lebar	Lebar

Parameter input yakni error dan delta error, untuk output berupa bukaan nol hingga 100. Fungsi keanggotaan dari input dan output terdapat pada Gambar 6. Input dari logika fuzzy berupa error dan delta error dengan rentang waktu -10 hingga 10 dan output dari fuzzy berupa bukaan valve dari 0% hingga 100 % ditunjukkan pada Gambar 8.



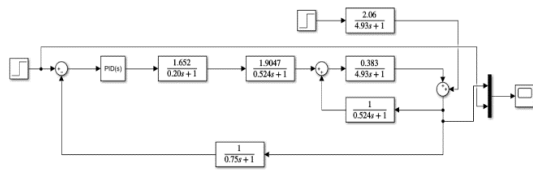
Gambar 8 Variable input output fuzzy

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

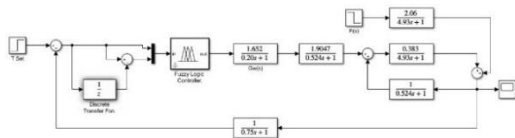
### A. Simulasi System Close Loop

Pada simulasi close loop, sesuai dengan skema pada gambar 4 yakni menambahkan sensor dan transmitter sesuai dengan rumus (8), (9) untuk umpan balik. Selain itu, dihubungkan dengan

pengendali PID seperti pada Gambar 9 dan di hubungkan dengan pengendali Fuzzy seperti pada Gambar 10. Keluaran dari kedua pengendali ialah persentase bukaan katup untuk mengalirkan steam.



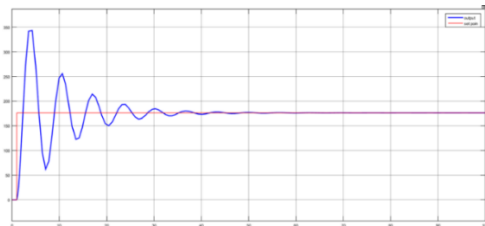
Gambar 9 Blok diagram pengendali PID



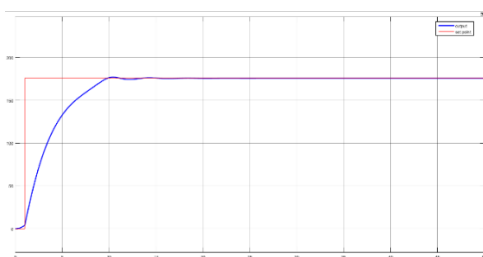
Gambar 10 Diagram blok pengujian kendali logika fuzzy

### B. Set Poin dan Gangguan Tetap

Skenario simulasi pertama ialah memberi nilai variable setpoint dan gangguan tetap sebesar 220 °F untuk setpoint dan gangguan berupa debit subtrat tetap sebesar 137,5ft3/min. menghasilkan grafik suhu reaktor sebagai berikut.



Gambar 11 Grafik suhu reaktor dengan pengendali pid, setpoint dan gangguan tetap



Gambar 12 Grafik suhu reaktor dengan pengendali fuzzy, setpoint dan gangguan tetap

Tabel 2 Parameter grafik suhu reaktor dengan set poin dan gangguan tetap

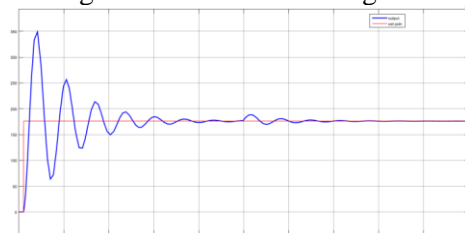
No	Variabel	Metode Pengendalian		Selisih
		PID	Fuzzy	
1	td (s)	1,8	2,9	1,1
2	tr (s)	0,9	6,04	5,14
3	tp (s)	3,6	10,4	6,8

4	ts (s)	27,7	18,9	8,8
5	mp (%)	96,26	0,6	95,66
6	steady state (°F)	167,2	175,9	1,1
7	ess (%)	0,5	0,05	0,05

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa dalam keadaan set poin 176 °F dan debit aliran subtrat 110 ft3/min Kendali PID mengalami time delay 1,8s sedangkan kendali fuzzy logic 2,9s. Rise time Pengendali PID selama 0,9s, sedangkan kendali fuzzy selama 6,04s. Untuk mencapai puncak overshoot pengendali PID memerlukan waktu 3,6s Dengan nilai maximum overshoot kendali PID 96,26%. Sedangkan fuzzy logic memerlukan waktu 10,4s dengan nilai maximum overshoot 0,6%. Kendali PID di waktu settling time 27,7, Nilai amplitudanya sebesar 167,2. Kendali fuzzy logic memerlukan waktu settling time 18,9s, nilai amplitudanya sebesar 175,9 dan steady state dengan nilai 212,1. Terlihat bahwa fuzzy logic dapat memperbaiki waktu settling time, menekan nilai overshoot dan error steady state nya.

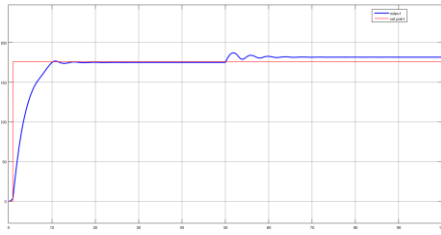
### C. Set Point Tetap Dan Gangguan Di Naikan

Skenario simulasi berikutnya ialah memberi nilai variable gangguan yang dinaikan sebesar 25% dari gangguan sebesar 137,5ft3/min didetik ke 50s. menghasilkan grafik suhu reaktor sebagai berikut.



Gambar 13 Grafik suhu reaktor dengan pengendali pid, setpoin tetap dan gangguan dinaikan

No	Variabel	Metode Pengendalian		Selisih
		PID	fuzzy	
1	td (s)	-	-	-
2	tr (s)	-	-	-
3	tp (s)	2,5	1,8	0,7
4	ts (s)	9,7	2,7	7
5	mp (%)	6,7	6,3	0,4
6	steady state (°F)	179,5	184,8	5,3
7	ess (%)	0,2	4,7	4,5



Gambar 14 Grafik suhu reaktor dengan pengendali fuzzy setpoint tetap dan gangguan dinaikan

Tabel 3 Parameter grafik suhu reaktor dengan set poin tetap dan gangguan dinaikan

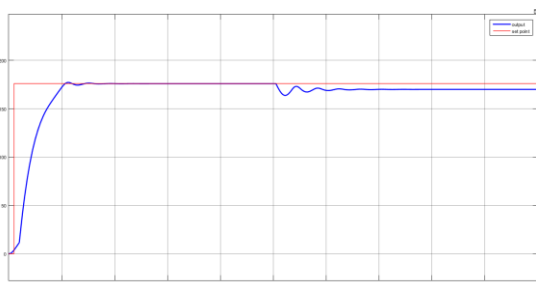
Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa dalam keadaan set poin tetap pada 176 °F dan debit aliran subtrat dinaikan menjadi 137,5ft<sup>3</sup>/min. Time delay dan risetime kendali PID dan fuzzy tidak terdefinisi. Untuk mencapai puncak *overshoot* Reaktor memerlukan waktu 2,5s Dengan nilai *maximum overshoot* kendali PID 6,7%. Sedangkan fuzzy logic memerlukan waktu 1,8s dengan nilai *maximum overshoot* 6,3%. Kendali PID di waktu *setling time* 9,7s nilai amplitudanya sebesar 179,5 °F. Kendali fuzzy logic memerlukan waktu *setling time* 2,7s, nilai amplitudanya sebesar 184,8 °F . Terlihat bahwa fuzzy logic dapat memperbaiki waktu *setling time*, waktu mencapai *overshoot* dan menekan nilai *overshoot*.

#### D. Set Point Tetap Dan Gangguan Di turunkan

Skenario selanjutnya adalah meurunkan gangguan sebesar 25% dari gangguantetap menjadi sebesar 82,5 ft<sup>3</sup>/min didetik ke 50 dan dianalisa grafik keluarannya berupa perubahan suhu reaktor terhadap waktu. Maka didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 15 Grafik suhu reaktor dengan pengendali pid, setpoint tetap dan gangguan diturunkan



Gambar 16 Grafik suhu reaktor pengendali fuzzy, setpoint tetap dan gangguan diturunkan

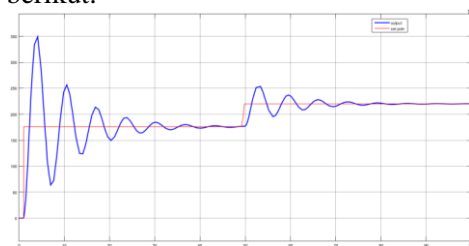
Tabel 4 Parameter grafik suhu reaktor dengan set poin tetap dan gangguan diturunkan

No	Variabel	Metode Pengendalian		Selisih
		PID	Fuzzy	
1	td (s)	-	-	-
2	tr (s)	-	-	-
3	tp (s)	2,5	1,5	1
4	ts (s)	9,8	2,4	7,4
5	mp (%)	7,3	7,3	0
6	<i>steady state</i> (°F)	179,5	167,2	12,3
7	ess (%)	2	5	3

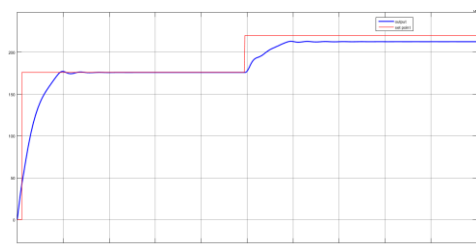
Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa dalam keadaan set poin 176 °F dan debit aliran subtrat diturunkan menjadi 82,5 ft<sup>3</sup>/min delay time dan *rise time* kedua pengendali tidak terdefinisi. Untuk mencapai puncak *overshoot* Reaktor memerlukan waktu 2,5s Dengan nilai *maximum overshoot* kendali PID 7,3%. Sedangkan fuzzy logic memerlukan waktu 1,5s dengan nilai *maximum overshoot* 7,3%. Kendali PID di waktu *setling time* 2,4s nilai amplitudanya sebesar 179,5 °F. Kendali fuzzy logic di waktu *setling time* 3,2s nilai amplitudanya sebesar 167,2 °F. Terlihat bahwa fuzzy logic dapat memperbaiki waktu mencapai *overshoot* dan *setling time*.

#### E. Set Poin Di naikan dan Gangguan Tetap

Skenario simulasi berikutnya ialah memberi nilai variable set poin yang dinaikan sebesar 25% dari setpoint dinaikan yakni sebesar 220 °F didetik ke 50 dengan Gangguan berupa debit subtrat tetap sebesar 110ft<sup>3</sup>/min. menghasilkan grafik suhu reaktor sebagai berikut.



Gambar 17 Grafik suhu reaktor dengan pengendali pid, setpoint dinaikan dan gangguan tetap



Gambar 18 Grafik suhu reaktor dengan pengendali fuzzy, setpoint dinaikan dan gangguan tetap

**Tabel 5 Parameter grafik suhu reaktor dengan set poin dinaikan**

No	Variabel	Metode Pengendalian	Selisih
----	----------	---------------------	---------

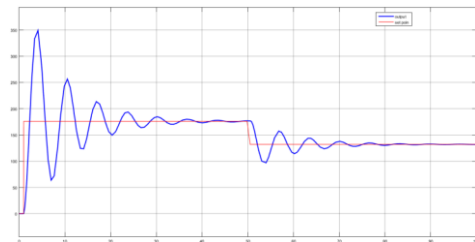
No	Variabel	Metode Pengendalian		Selisih
		PID	Fuzzy	
1	td (s)	1,5	5,4	3,9
2	tr (s)	1,9	-	-
3	tp (s)	3,9	10,6	6,7
4	ts (s)	17,4	-	-
5	mp (s)	26,9	5	21,9
6	steady state (°F)	125,4	139,2	13,8
7	ess (%)	5	5,4	0,4

		PID	Fuzzy	
1	td (s)	1,5	3,6	1,1
2	tr (s)	1	-	-
3	tp (s)	3,9	9,5	5,6
4	ts (s)	13,8	7,2	6,6
5	mp (s)	15,5	3,1	12,4
6	steady state (°F)	209	212,1	3,1
7	ess (%)	5	3,3	1,7

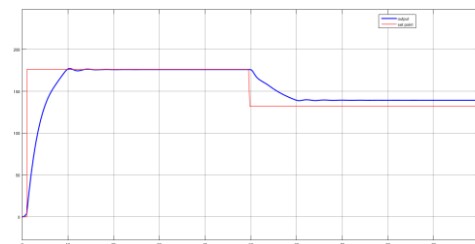
Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa dalam keadaan set poin dinaikan menjadi 220 °F. Kendali PID mengalami time delay 1,5s sedangkan fuzzy logic 3,6s. *Rise time* Pengendali PID selama 1s, sedangkan fuzzy tidak terdefinisi. Untuk mencapai puncak *overshoot* Reaktor memerlukan waktu 3,9s Dengan nilai maximum *overshoot* kendali PID 15,5%. Sedangkan fuzzy logic memerlukan waktu 9,5s dengan nilai maximum *overshoot* 3,1%. Kendali PID di waktu *setling time* 13,8, nilai amplitudanya sebesar 167,2. Kendali fuzzy logic memerlukan waktu *setling time* 7,2, nilai amplitudanya sebesar 167,2 dan *steady state* dengan nilai 212,1. Terlihat bahwa fuzzy logic dapat memperbaiki waktu *setling time*, menekan nilai *overshoot* dan error *steady state* nya.

#### F. Set Poin Di turunkan dan Gangguan Tetap

Skenario simulasi berikutnya ialah memberi nilai variable set poin yang diturunkan sebesar 25% dari set poin tetap yakni sebesar 132°F dengan Gangguan berupa debit substrat sebesar 110ft<sup>3</sup>/min. menghasilkan grafik suhu reaktor sebagai berikut.



**Gambar 19 Grafik suhu reaktor dengan pengendali pid, setpoint diturunkan dan gangguan tetap**



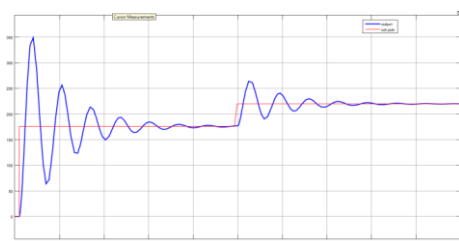
**Gambar 20 Grafik suhu reaktor dengan pengendali fuzzy, setpoint diturunkan dan gangguan tetap**

**Tabel 6 Parameter grafik suhu reaktor dengan set poin diturunkan**

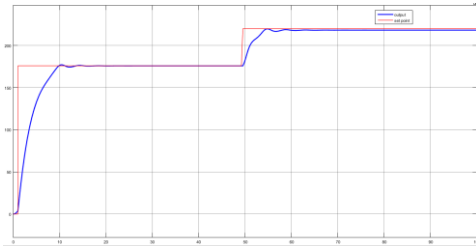
Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa dalam keadaan set poin diturunkan menjadi 132 °F dan debit aliran substrat tetap pada 110ft<sup>3</sup>/min. Kendali PID mengalami time delay 1,5s sedangkan fuzzy logic 5,4s. *Rise time* Pengendali PID yakni selama 1,9s, sedangkan fuzzy tidak terdefinisi. Untuk mencapai puncak *overshoot* Reaktor memerlukan waktu 3,9s Dengan nilai maximum *overshoot* kendali PID 26,9%. Sedangkan fuzzy logic memerlukan waktu 10,6s dengan nilai maximum *overshoot* 5%. Kendali PID di waktu *setling time* 17,4s, nilai amplitudanya sebesar 125,4. Kendali fuzzy logic tidak mencapai amplitudanya kurang dari 0,05 namun mengalami *steady state* pada nilai 139,2. Terlihat bahwa fuzzy logic dapat memperbaiki nilai *overshoot*.

#### G. Set Poin dan Gangguan Dinaikan

Skenario simulasi berikutnya ialah memberi nilai variable setpoint dan gangguan yang dinaikan sebesar 25% dari setpoint tetap yakni sebesar 220°F dan gangguan tetap sebesar 137,5ft<sup>3</sup>/min didetik ke 50s. menghasilkan grafik suhu reaktor sebagai berikut.



**Gambar 21 Grafik suhu reaktor dengan pengendali pid, set poin dan gangguan dinaikan**



Gambar 22 Grafik suhu reaktor dengan pengendali fuzzy, set poin dan gangguan dinaikan

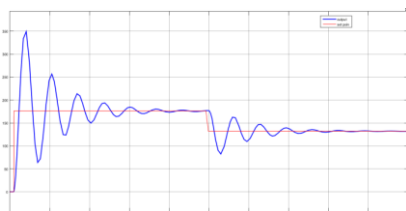
Tabel 7 Parameter grafik suhu reaktor dengan setpoin dan gangguan dinaikan

No	Variabel	Metode Pengendalian		Beda
		PID	fuzzy	
1	td (s)	1,3	0,5	0,8
2	tr (s)	0,8	3,7	2,9
3	tp (s)	3,1	4,3	1,2
4	ts (s)	17,4	7,1	10,3
5	mp (%)	32	0,07	31,93
6	steady state (°F)	125,4	133,5	8,1

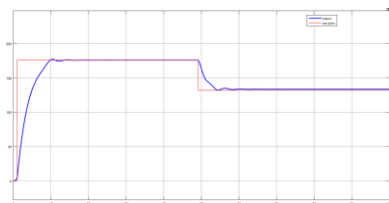
Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa dalam keadaan set poin dinaikan menjadi 220 °F dan gangguan dinaikan menjadi 137,5ft<sup>3</sup>/min. Kendali PID mengalami time delay 2,1s sedangkan time delay fuzzy logic 0,8s. Rise time Pengendali PID selama 0,9s, sedangkan rise time fuzzy. Untuk mencapai puncak overshoot reaktor memerlukan waktu 2,5s Dengan nilai maximum overshoot kendali PID 19,8%. Sedangkan fuzzy logic memerlukan waktu 4,7s dengan nilai Mp 0,006%. Kendali PID di waktu settling time 13,3 nilai amplitudanya sebesar 209. Kendali logika fuzzy memerlukan waktu settling time 2,5, nilai amplitudanya sebesar 209 dan steady state dengan nilai error 0,008. Terlihat bahwa fuzzy logic dapat memperbaiki time delay, settling time, menekan nilai overshoot dan error steady state nya.

#### H. Set Poin dan Gangguan Diturunkan

Skenario simulasi berikutnya ialah memberi nilai variable setpoint dan gangguan yang diturunkan sebesar 25% dari setpoint tetap yakni sebesar 132 °F dan gangguan sebesar 82,5ft<sup>3</sup>/min didetik ke 50s. menghasilkan grafik suhu reaktor sebagai berikut.



Gambar 23 Grafik suhu reaktor dengan pengendali pid, set poin dan gangguan diturunkan



Gambar 24 Grafik suhu reaktor dengan pengendali fuzzy, set poin dan gangguan diturunkan

Tabel 8 Parameter grafik suhu reaktor dengan setpoin dan gangguan diturunkan

No	Variabel	Metode Pengendalian		Beda
		PID	Fuzzy	
1	td (s)	2,1	0,8	0,3
2	tr (s)	0,9	3,8	2,9
3	tp (s)	2,5	4,7	2,2
4	ts (s)	13,3	2,5	10,8
5	mp (s)	19,8	0,006	19,8
6	steady state (°F)	209	218,3	9,3
7	ess (%)	5	0,008	5

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa dalam keadaan set poin diturunkan menjadi 132 °F dan debit aliran substrat diturunkan menjadi 82,5ft<sup>3</sup>/min Kendali PID mengalami time delay 1,3s sedangkan fuzzy logic 0,5s. Rise time Pengendali PID selama 0,8s, sedangkan risetime fuzzy 3,7s. Untuk mencapai puncak overshoot Reaktor memerlukan waktu 3,1s Dengan nilai maximum overshoot kendali PID 32%. Sedangkan fuzzy logic memerlukan waktu 4,3s dengan nilai maximum overshoot 0,07%. Kendali PID memiliki settling time 17,4s dengan nilai amplitudanya sebesar 125,4. Kendali logika fuzzy memerlukan waktu settling time 7,1s, nilai amplitudanya sebesar 125,4 dan steady state dengan nilai 133,5. Terlihat bahwa fuzzy logic dapat memperbaiki time delay, settling time, menekan nilai overshoot dan error steady state nya.

## V. KESIMPULAN

Pengendali PID dan Pengendali Fuzzy logic telah berhasil mengendalikan suhu didalam reaktor. Pengendali PID yang dibuat mampu mengendalikan suhu reaktor alir berpengaduk kontinyu dengan steady state error kurang dari 5%. Settling time kurang dari 27,7s, overshoot kurang dari 97%. Pengendali Fuzzy yang dibuat mampu mengendalikan suhu reaktor alir kontinyu. Pengendali fuzzy logic dapat memperbaiki nilai overshoot pengendali PID. Dengan steady state error



kurang dari 5,4%, *setling time* kurang dari 20s, dan *overshoot* kurang dari 7,5%.

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut pengendalian adaptive seperti model referensi adaptive controller, STR LQR dapat diimplementasikan untuk proses RTPK. Menambahkan system pengendali konsentrasi zat dalam reactor serta menggunakan IOT sebagai system monitoring suhu reactor.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan tugas akhir nomor B/402/PL1.R1/EP.00.08/2021 kelompok A1.

### REFERENSI

- [1] A. Sinha and . R. K. Kumar Mishra, "Control of a nonlinear continuous stirred tank reactor via event triggered," 2018.
- [2] F. Hurtado, A. Kaiser and B. Zamora, "Fluid dynamic analysis of a continuous stirred tank," *water research* 71, pp. 282-293, 2015.
- [3] N. F. Thornhill, S. C. Sachin C. Patwardhan and . S. L. Shah, "A continuous stirred tank heater simulation model with applications," *Journal of Process Control*, vol. 18, pp. 347-360, 2008.
- [4] A. Wahid, I. G. E. Putra, F. F. Adicandra , A. P. Prasetyo and . Y. Wiranoto, "EMODELAN DINAMIK DAN PENGENDALIAN PROSES," *SINERGI*, vol. 21, pp. 83-90, 2017.
- [5] L. Gao, "Modeling and dynamics analyses of immobilized CSTR bioreactor using transfer," *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION TECHNOLOGY IN MEDICINE AND EDUCATION*, pp. 692-695, 2012.
- [6] S. Sehgal and V. Acharya, "Design of PI Controller for Continuous Stirred," *Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science* , 2014.
- [7] V. Kabila and G. G. Devadhas, "Comparative Analysis of PID and Fuzzy PID," *Indian Journal of Science and Technology*, 2015.
- [8] Caroline, I. Bayusari, J. Silalahi , D. Amri and B. Y. Suprpto, "Pengembangan Pengendali Proportional Integral Derivative pada Pengendalian Suhu Stirred Tank Heater," *Jurnal Amplifier*, vol. 6 no.2, pp. 16-20, 2016.
- [9] J. E. H. Ali, A. Mami and E. Feki, "Dynamic Matrix Control DMC using the Tuning," (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10 no 6, pp. 358-367, 2019.
- [10] P. Laszczyk, . T. Klopot and D. Pyka, "Comparison of DMC and PFC Control," 2013.
- [11] m. jibril, M. Tadese and . E. Alemayehu, "Temperature Control of Stirred Tank Heater using Optimal," 23 june 2020.
- [12] N. M. Ramli and m. s. mohamad, "Modelling for Temperature Non-Isothermal Continous Stirred Tank Reactor Using Fuzzy Logic," *International Scholarly and Scientific Research & Innovation* , vol. 11, pp. 159-165, 2017.
- [13] C. A. Smith and A. B. Corripio, *Principles and Practice of Automatic Process Control 2nd*, New York | Chichester | Weinheim | Brisbane | Singapore | Toronto: ohn Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [14] A. O. Ahmed, G. A. Gasmelseed, A. B. Karama and A. E. Musa, "Cascade Control of a Continuous Stirred Tank Reactor," *journal of applied and industrial sciences*, vol. 4, pp. 16-23, 2013.