

**PERANCANGAN PENGENDALI PID-FUZZY  
PADA SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR  
CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)**

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik*

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



*Disusun oleh:*

**TAUFIQUR RACHMAN  
0001060391-63**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
MALANG  
2007**

**PERANCANGAN PENGENDALI PID-FUZZY  
PADA SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR  
CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)**

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik*

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



*Disusun oleh:*

**TAUFIQUR RACHMAN**  
**0001060391-63**

**DOSEN PEMBIMBING :**

**Dipl. -Ing. Ir. Moch. Rusli**  
**NIP. 131 653 473**

**Fitriana Suhartati, ST, MT**  
**NIP. 132 206 527**

**PERANCANGAN PENGENDALI PID-FUZZY  
PADA SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR  
CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)**

*Disusun oleh:*

**TAUFIQUR RACHMAN  
0001060391-63**

*Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal  
10 Agustus 2007*

**MAJELIS PENGUJI :**

**Ir. Bambang Siswojo  
NIP. 131 759 588**

**Goegoes Dwi Nusantoro, ST, MT  
NIP. 132 318 316**

**Ir. Erni Yudaningtyas, MT  
NIP. 131 879 035**

**Rusmi Ambarwati, ST, MT  
NIP. 132 258 188**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom  
NIP. 131 879 033**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan berkat, rahmat, dan karunia serta ridho-Nya penyusunan skripsi ini dengan judul **“Perancangan Pengendali PID-Fuzzy Pada Sistem Pengendalian Temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*”** dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan mencapai titik akhir penyelesaian tanpa bantuan berbagai pihak, karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, Ibu dan kedua adikku, adalah rahmat Allah SWT yang terbesar bisa berada diantara mereka dengan dukungan dan kasih sayang yang tidak dapat terbalaskan.
2. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom selaku Ketua Jurusan Elektro dan bapak Rudy Yuwono, ST, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Elektro.
3. Bapak Dipl. Ing. Ir. Moch. Rusli dan Ibu Fitriana Suhartati, ST, MT sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dan koreksi dengan sabar sampai terselesaikannya skripsi ini.
4. Bapak dan ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
5. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

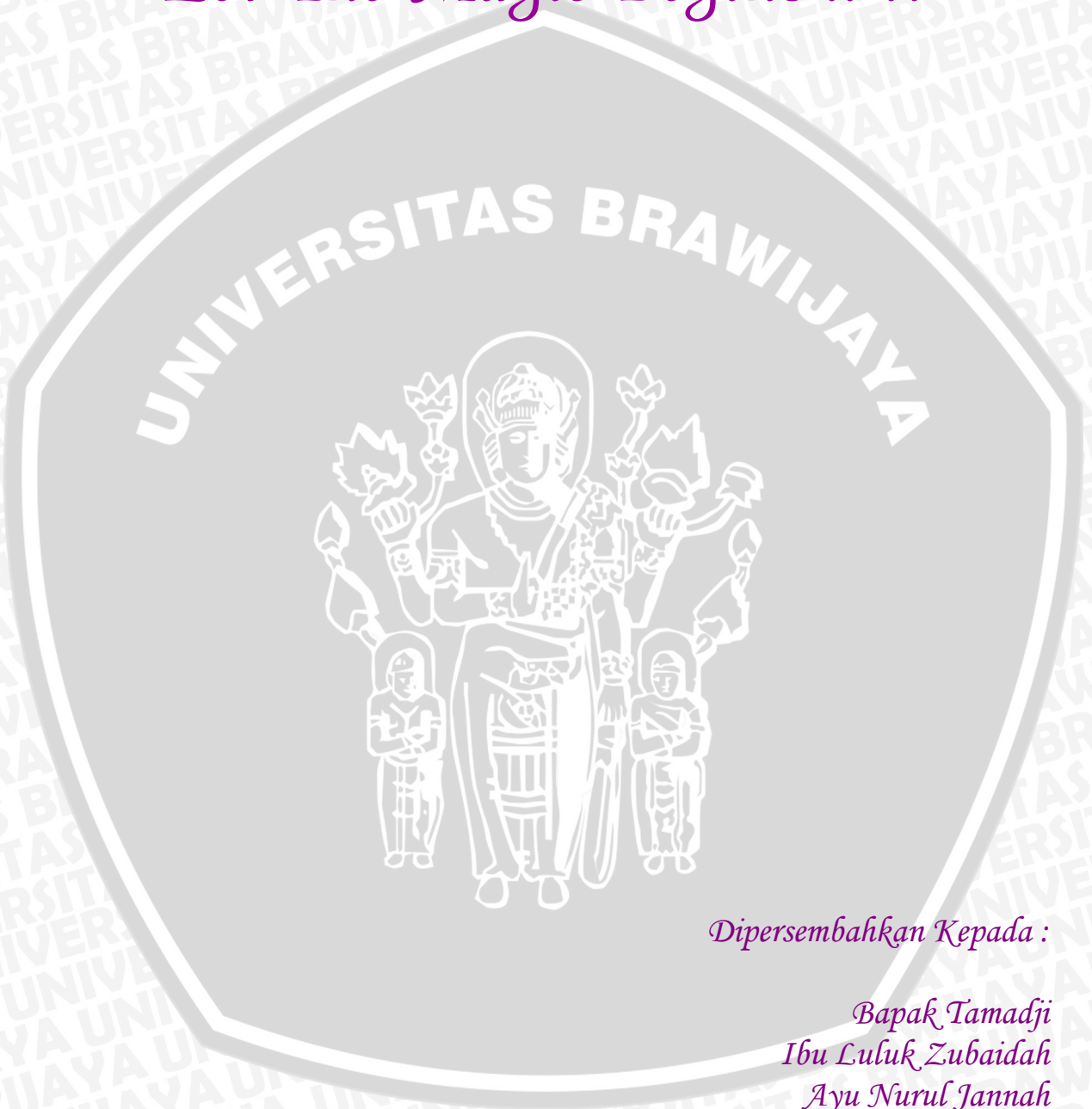
Sebuah penantian panjang telah berakhir, yang akan menjadi sebuah titik perjalanan yang baru. Tiada yang sempurna di dunia ini, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan. Karenanya, segala kritik dan saran dari pembaca tentang isi skripsi ini sangat diharapkan agar dapat memberikan yang terbaik bagi semuanya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Agustus 2007

Penyusun



*Let The Magic Begins .. !!*



*Dipersembahkan Kepada :*

*Bapak Tamadji  
Ibu Luluk Zubaidah  
Ayu Nurul Jannah  
Wiwin Ulumil Jannah  
dan  
Indah Ratna Sari*

## Ucapan Terima Kasih

### *Acknowledgement*

Dengan diikuti rasa syukur kepada Allah SWT, bersama ini saya sampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

**Riset Teknologi Informasi Elektro (RiTIE)** yang sudah memberikan banyak pengalaman dan kepercayaan.

**Tim Pengembang Teknologi Informasi Fakultas Teknik (TPTI-FT)** atas pendewasaan yang diajarkan

**Teman, Sahabat dan Saudaraku angkatan 2000** dengan keramaiannya yang menemani hari-hari di Elektro Brawijaya

**Ogay, Basuki, Rendra, Wawan dan Pempek** atas persaudaraannya yang selalu memberikan dorongan, kekuatan dan dukungan

**Aswin dan Ardi** yang berjuang bersama dengan semua keluh kesah, harapan dan cita-cita besarnya

**Alit, Hamzah, Huri, Delrizki, Garong, Andi, Gama, Galih, Faisal, Ichank, Reza, Rizal dan yang lain** atas keceriaan dengan canda tawa dan kekonyolannya

**Rizki, Putu, Cemil, Bocah, Mas Mono, Bang Adeng** yang terus memberikan semangat

**Mas Ratno** dan Keluarga, serta mas-masku yang selalu memberikan arahan dan bimbingan

**Asisten Lab Kontrol** yang memberikan bantuan ketika kurang memahami bahan

**Komputerku** atas kesetiaan dan susah payahnya terus membantu dengan raungan kerasnya

**Blitzard Entertainment** yang memberikan kepuasan dengan game **DotA** yang dimunculkan

**Maya Ari Hardini** yang telah memberikan banyak perhatian sejak masa kuliah

Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuannya sampai terselesaikannya laporan penelitian ini

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Sistematika Pembahasan .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b>	<b>5</b>
2.1. <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> .....	5
2.1.1. Mekanisme Kerja <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> .....	5
2.1.2. Proses Pengendalian Sistem .....	7
2.1.3. Katub Kendali .....	8
2.1.4. Sensor Temperatur .....	10
2.2. Pengendali PID .....	10
2.2.1. Metode Penalaan Pengendali PID .....	12
2.3. Pengendali Logika <i>Fuzzy</i> .....	13
2.3.1. Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	13
2.3.2. Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	15
2.3.3. Struktur Dasar Pengendali Logika <i>Fuzzy</i> .....	16
2.4. Pengendali <i>Hybrid</i> PID- <i>Fuzzy</i> .....	21
2.5. Kriteria Performansi .....	21
2.5.1. <i>Settling Time</i> .....	22
2.5.2. <i>Rise Time</i> .....	22

2.5.3. <i>Maximum Overshoot</i> .....	22
2.5.4. <i>Error Steady State</i> .....	22
<b>BAB III METODOLOGI</b>	<b>24</b>
3.1. Pengambilan Data dan Studi Literatur.....	24
3.2. Penyusunan Model Matematika Sistem.....	26
3.3. Perancangan Sistem Pengendali PID- <i>Fuzzy</i> .....	26
3.4. Simulasi Sistem.....	27
3.5. Analisa Hasil Simulasi.....	27
3.6. Penarikan Kesimpulan dan Saran.....	27
<b>BAB IV PEMODELAN SISTEM</b>	<b>28</b>
4.1. Pemodelan Matematika Sistem.....	28
4.1.1. Model Matematika Katub Kendali.....	33
4.1.2. Model Matematika Sensor Temperatur.....	35
4.2. Penalaan Pengendali PID.....	37
4.3. Perancangan Pengendali Logika <i>Fuzzy</i> .....	38
4.4. Penggabungan Pengendali PID dengan Pengendali Logika <i>Fuzzy</i> .....	39
<b>BAB V PENGUJIAN DAN SIMULASI SISTEM</b>	<b>41</b>
5.1. Pengujian Hasil Perancangan.....	41
5.1.1. Respon Temperatur dengan Pengendali PID.....	44
5.1.2. Respon Temperatur dengan Pengendali <i>Hybrid</i> PID- <i>Fuzzy</i> .....	46
5.2. Analisa Hasil Perancangan.....	48
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>52</b>
6.1. Kesimpulan.....	52
6.2. Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>54</b>



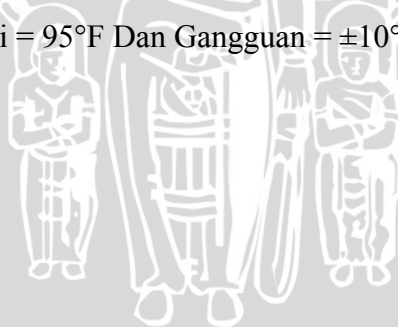
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sketsa <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> .....	5
Gambar 2.2.	Sketsa Pengendalian <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> .....	7
Gambar 2.3.	Blok Diagram Pengendali PID .....	11
Gambar 2.4.	Output Sistem Terhadap Input Unit Step .....	12
Gambar 2.5.	Definisi Himpunan <i>Fuzzy</i> A Secara Diagramatik .....	14
Gambar 2.6.	Contoh Operasi Gabungan ( <i>Union</i> ) Himpunan <i>Fuzzy</i> A dan B .....	16
Gambar 2.7.	Contoh Operasi Irisan ( <i>Intersection</i> ) Himpunan <i>Fuzzy</i> A dan B .....	16
Gambar 2.8.	Contoh Operasi Komplemen ( <i>Complement</i> ) Himpunan <i>Fuzzy</i> A dan B .....	16
Gambar 2.9.	Contoh Operasi Komplemen Khusus .....	16
Gambar 2.10.	Struktur Pengendali Logika <i>Fuzzy</i> Dasar .....	17
Gambar 2.11.	Sistem Pengendalian Lup Tertutup Dengan Logika <i>Fuzzy</i> .....	18
Gambar 2.12.	Respon Step Terhadap Waktu dan Bidang Fasa.....	19
Gambar 2.13.	Diagram Blok Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> .....	21
Gambar 2.14.	Kriteria Performansi Sistem .....	22
Gambar 3.1.	Diagram Blok Sistem Pengendalian Temperatur <i>Continuous Stirred</i> <i>Tank Reactor (CSTR)</i> .....	26
Gambar 4.1.	Blok Diagram Katub Kendali.....	35
Gambar 4.2.	Blok Diagram Umpan Balik.....	35
Gambar 4.3.	Blok Diagram Sistem Pengendalian Temperatur <i>Continuous Stirred</i> <i>Tank Reactor (CSTR)</i> .....	36
Gambar 4.4.	Input Unit Step .....	37
Gambar 4.5.	Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor</i> Terhadap Input Unit Step .....	37
Gambar 4.6.	Himpunan <i>Fuzzy</i> Error .....	38
Gambar 4.7.	Himpunan <i>Fuzzy</i> Perubahan error ( $\Delta$ error) .....	39
Gambar 4.8.	Himpunan <i>Fuzzy</i> Output.....	39
Gambar 4.9.	Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> .....	40
Gambar 5.1.	Diagram Blok Pengendalian Temperatur Pada <i>Continuous Stirred</i> <i>Tank Reactor (CSTR)</i> Dengan Menggunakan Pengendali PID.....	42

Gambar 5.2. Diagram Blok Pengendalian Temperatur Pada <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> Dengan Menggunakan Pengendali <i>PID-Fuzzy</i> .....	42
Gambar 5.3. Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> .....	43
Gambar 5.4. Sinyal Pengendali <i>PID</i> .....	43
Gambar 5.5. Sinyal Pengendali <i>Fuzzy</i> .....	43
Gambar 5.6. Sinyal Pengendali <i>hybrid PID-Fuzzy</i> .....	44
Gambar 5.7. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>PID</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ dan $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ .....	44
Gambar 5.8. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>PID</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ , $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ dan Gangguan = $\pm 10^{\circ}\text{F}$ .....	44
Gambar 5.9. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>PID</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ dan $T_i = 150^{\circ}\text{F}$ .....	45
Gambar 5.10. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>PID</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ , $T_i = 150^{\circ}\text{F}$ dan Gangguan = $\pm 10^{\circ}\text{F}$ .....	45
Gambar 5.11. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>PID</i> Pada $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$ dan $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ .....	45
Gambar 5.12. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>PID</i> Pada $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$ , $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ dan Gangguan = $\pm 10^{\circ}\text{F}$ .....	46
Gambar 5.13. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ dan $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ .....	46
Gambar 5.14. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ , $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ dan Gangguan = $\pm 10^{\circ}\text{F}$ .....	46
Gambar 5.15. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ dan $T_i = 150^{\circ}\text{F}$ .....	47
Gambar 5.16. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> Pada $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ , $T_i = 150^{\circ}\text{F}$ dan Gangguan = $\pm 10^{\circ}\text{F}$ .....	47
Gambar 5.17. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> Pada $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$ dan $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ .....	47
Gambar 5.18. Respon Temperatur Dengan Pengendali <i>Hybrid PID-Fuzzy</i> Pada $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$ , $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ dan Gangguan = $\pm 10^{\circ}\text{F}$ .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Aturan <i>Ziegler-Nichols</i> .....	12
Tabel 2.2.	Tabel Kaidah Atur untuk himpunan fuzzy N, Z dan P .....	19
Tabel 2.3.	Tabel Kaidah Atur .....	20
Tabel 2.4.	Tabel kaidah atur dalam bentuk matrik.....	20
Tabel 4.1.	Aturan-aturan <i>Fuzzy</i> yang digunakan.....	39
Tabel 5.1.	Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> Pada Tset = 100°F dan Ti = 95°F .....	48
Tabel 5.2.	Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> Pada Tset = 100°F, Ti = 95°F Dan Gangguan = ±10°F.....	48
Tabel 5.3.	Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> Pada Tset = 100°F dan Ti = 150°F .....	49
Tabel 5.4.	Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> Pada Tset = 100°F, Ti = 95°F Dan Gangguan = ±10°F.....	49
Tabel 5.5.	Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> Pada Tset = 200°F dan Ti = 95°F .....	49
Tabel 5.6.	Respon Temperatur <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i> Pada Tset = 200°F, Ti = 95°F Dan Gangguan = ±10°F.....	49



## ABSTRAK

TAUFIQUR RACHMAN, 2007. Perancangan Pengendali PID-*Fuzzy* pada Pengendalian Temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.  
Dosen Pembimbing : Dipl. Ing. Ir. Moch. Rusli dan Fitriana Suhartati, ST, MT

*Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* merupakan reaktor kimia yang digunakan untuk mencampur bahan kimia dengan laju aliran fluida dan temperatur tertentu sehingga diperoleh hasil yang homogen. Dalam sistem tersebut pengendalian temperatur sangat penting, sebab apabila temperatur terlalu tinggi akan mengakibatkan dekomposisi produk dan apabila terlalu rendah akan mengakibatkan pencampuran yang kurang homogen.

Pengendalian Temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dirancang dengan menggunakan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* dengan pengendali PID sebagai pengendali utama. Pengendali logika *fuzzy* digunakan untuk memperbaiki respon dari pengendali PID dengan cara menambah atau mengurangi output dari pengendali PID. Pada penelitian ini, beban yang diberikan pada pengendali *Fuzzy* adalah 50% dari beban pengendali PID.

Melalui simulasi dengan  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$ , sistem yang menggunakan pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* mempunyai *settling time* ( $t_s$ ) = 20,9 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 1,38 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 12,2%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,1%. Sedangkan dengan menggunakan pengendali PID, didapat *settling time* ( $t_s$ ) = 25,5 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 3,15 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 38%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,06%.

Ketika sistem diberikan gangguan  $\pm 10^{\circ}\text{F}$ , sistem dengan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* mempunyai *recovery time* = 34,73 detik dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,06%. Sedangkan sistem dengan pengendali PID mempunyai *recovery time* = 34,81 detik dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,082%.

**Kata Kunci :** *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*, Temperatur, *hybrid PID-Fuzzy*.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan hasil-hasil dari industri kimia dari tahun ke tahun semakin besar. Hal tersebut disebabkan semakin banyaknya produk industri kimia yang dibutuhkan oleh masyarakat dan industri lain, mulai dari obat-obatan, minuman, sampai dengan bahan baku untuk diolah industri yang lain. Untuk menghasilkan produk-produk tersebut industri kimia mempunyai berbagai macam peralatan. *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* adalah salah satu sistem yang digunakan oleh industri kimia dalam proses produksinya.

*Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* merupakan reaktor kimia yang digunakan untuk mencampur bahan kimia dengan laju aliran fluida dan temperatur tertentu sehingga diperoleh hasil yang homogen. Dalam sistem tersebut pengendalian temperatur sangat penting, sebab apabila temperatur terlalu tinggi akan mengakibatkan dekomposisi produk dan apabila terlalu rendah akan mengakibatkan pencampuran yang kurang homogen. Dalam proses industri pasti terdapat ratusan variabel yang harus dijaga agar diperoleh hasil yang baik. Sehingga jika dilakukan secara manual belum tentu didapatkan hasil yang sesuai dan tidak efisien karena akan diperlukan banyak operator. Oleh karena itu diperlukan pengendalian secara otomatis tanpa memerlukan banyak campur tangan operator.

Sistem pengendalian merupakan sebuah sistem yang terdiri dari satu atau beberapa peralatan yang berfungsi untuk mengendalikan sistem lain yang berhubungan dengan sebuah proses. Sebagai pengendali konvensional, pengendali *proportional-integral-derivative* (PID) telah lama dikembangkan dan diaplikasikan kira-kira setengah abad lamanya, serta banyak digunakan pada industri-industri. Alasan utama digunakannya adalah pengoperasiannya yang *simple*, desain yang mudah, perawatan yang tidak terlalu mahal, serta efektif pada sistem-sistem linier. Bagaimanapun, telah kita ketahui bahwa pengendali PID secara umum tidak bekerja baik pada sistem-sistem nonlinier, *higher order*, *time-*

*delay* sistem linier, kompleks tertentu dan sistem yang tidak memiliki model matematika tepat atau tersamar.

Dilain pihak, pengendalian dengan menggunakan logika *Fuzzy* telah dikembangkan sebagai alternatif maupun pelengkap dari pengendalian secara konvensional, PID. Pengendali *Fuzzy* mampu melakukan aksi pengendalian nonlinier yang kompleks, bahkan untuk sistem nonlinier yang tak pasti. Peniruan bagaimana manusia berpikir dan tingkat *error* merupakan dua masukan dalam merancang sebuah sistem pengendali *Fuzzy*.

Dengan melihat kemampuan dari dua pengendali diatas, akan didapatkan keuntungan tersendiri ketika pengendali tersebut digabungkan. Jika pengendali PID dibuat sensitif, maka respon sistem terhadap gangguan akan menghasilkan *overshoot/undershoot* yang besar sehingga respon sistem akan semakin lambat mencapai kondisi mantap. Sedangkan ketika pengendali PID dibuat kurang sensitif, *overshoot/undershoot* yang terjadi semakin kecil dan pencapaian kondisi mantap semakin cepat tetapi akan memperlambat proses pemulihan terhadap gangguan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan logika *Fuzzy* untuk membantu meminimalkan *overshoot/undershoot* yang terjadi dan mempercepat respon terhadap gangguan.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Mengacu pada latar belakang masalah yang ada, maka rumusan masalah pada penelitian ini ditekankan pada :

1. Bagaimana memodelkan proses pengendalian temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* yang akan dipergunakan dalam perhitungan
2. Bagaimana merancang sistem pengendali PID-*Fuzzy* pada pengendalian temperatur *Continuous Stirred tank Reactor (CSTR)*
3. Bagaimana mensimulasikan pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dengan menggunakan pengendali PID-*Fuzzy*

### 1.3 BATASAN MASALAH

Karena begitu luasnya obyek kajian maka perlu dilakukan pembatasan masalah agar lebih terfokus pada rumusan masalah. Pembatasan yang akan digunakan antara lain :

1. Sistem yang ditinjau merupakan sistem dengan satu variabel masukan dan satu variabel keluaran
2. Variabel terkendali adalah temperatur fluida proses sedangkan variabel termanipulasi adalah laju fluida yang mengalir ke dalam tangki
3. Propeler atau kincir dalam analisa sistem dianggap sebagai alat tambahan untuk mempercepat reaksi tetapi tidak berpengaruh secara dominan pada reaksi tersebut
4. Perancangan sistem pengendali menggunakan pengendali PID-Fuzzy dengan satu masukan error
5. Penalaan pengendali PID menggunakan metode *Ziegler-Nichols*.
6. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *simulink* MATLAB

### 1.4 TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mensimulasikan pengendali PID-Fuzzy pada sistem pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* sehingga diperoleh sistem yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan.

### 1.5 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

#### Bab I Pendahuluan

Terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan

#### Bab II Dasar Teori

Berisi dasar teori tentang *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dan pengendalian berbasis PID-Fuzzy

#### Bab III Metodologi

Dalam bab ini dibahas tentang tahapan dalam penelitian yang dilakukan

Bab IV Pemodelan Sistem

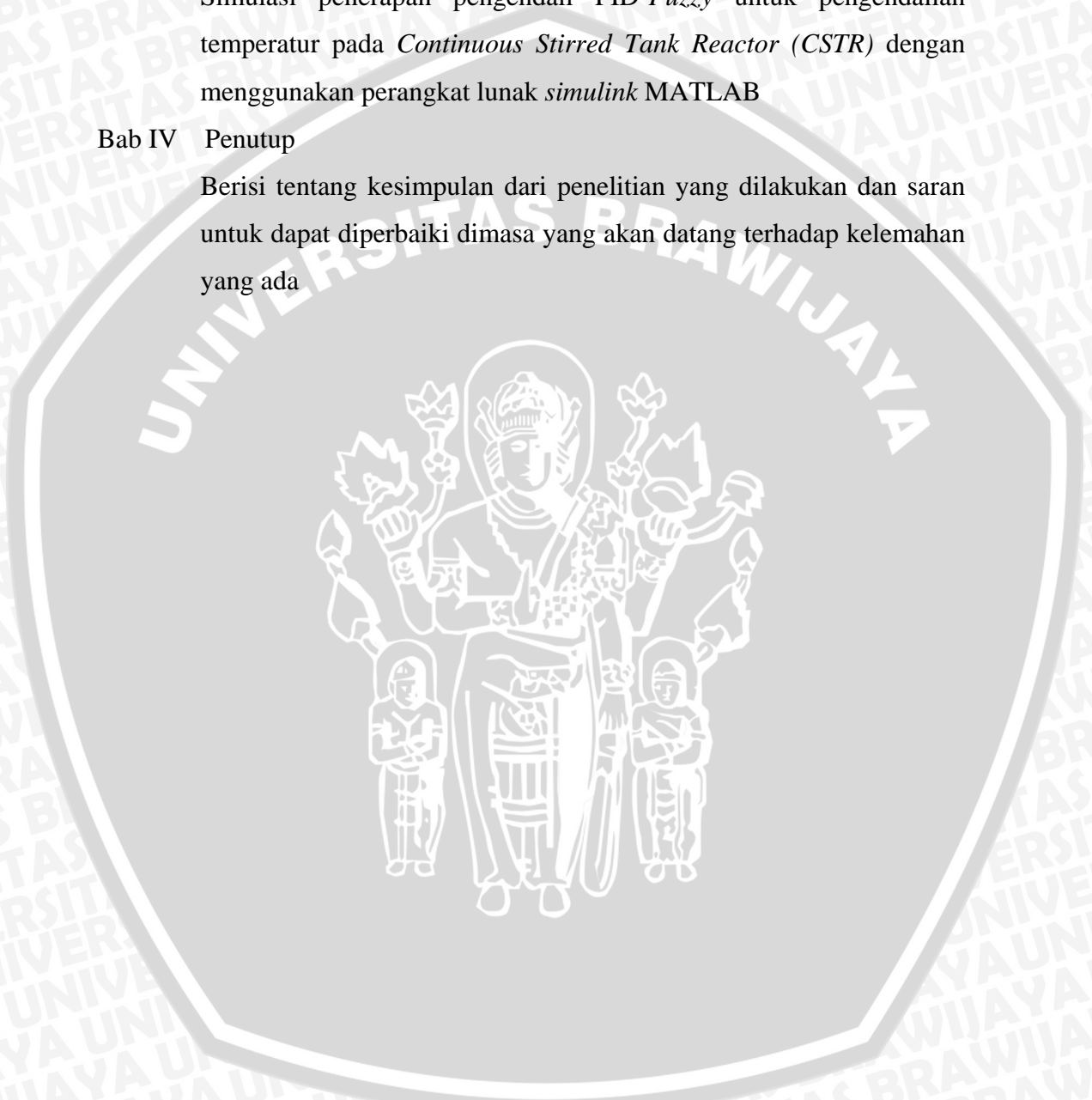
Perancangan pengendali *PID-Fuzzy* untuk pengendalian temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

Bab V Pengujian dan Simulasi Sistem

Simulasi penerapan pengendali *PID-Fuzzy* untuk pengendalian temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dengan menggunakan perangkat lunak *simulink* MATLAB

Bab IV Penutup

Berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk dapat diperbaiki dimasa yang akan datang terhadap kelemahan yang ada





## BAB II

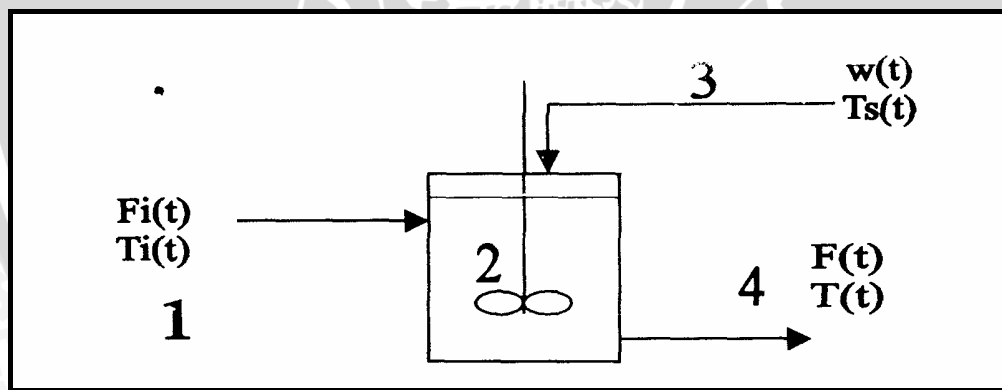
### CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR) DAN PENGENDALI PID-FUZZY

#### 2.1 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

*Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* merupakan salah satu jenis reaktor kimia yang berfungsi untuk memanaskan proses pencampuran bahan kimia sehingga diperoleh komposisi yang homogen. Pada reaktor kimia ini, laju fluida dan temperatur fluida yang masuk ke dalam tangki sering berubah-ubah sehingga dibutuhkan sistem pengendali yang mampu memberikan respon sesuai dengan kebutuhan. *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* menggunakan katub kendali untuk mengalirkan atau menghentikan uap panas ke dalam tangki pereaksi sebagai pemanas dalam proses pencampuran tersebut.

##### 2.1.1 Mekanisme Kerja *Continuous Stirred Tank Reactor*

Bagian - bagian dari *CSTR* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1 Sketsa *Continuous Stirred Tank Reactor*  
Sumber : Carlos A. Smith dan Armando B. Corripio: 1985: 83

Keterangan :

1. Fluida masukan, dengan laju aliran fluida adalah  $F_i(t)$  dan temperatur fluida masukan adalah  $T_i(t)$ .
2. Propeler atau kincir yang digunakan untuk mencampur fluida masukan.
3. Laju uap panas adalah  $w(t)$  dan temperatur uap panas adalah  $T_s(t)$ .
4. Keluaran dari *CSTR* dengan laju aliran fluida  $F(t)$  suhu keluaran  $T(t)$ .

Fluida yang masuk ke dalam tangki dengan laju aliran fluida  $F_i(t)$  dan temperatur fluida masukan  $T_i(t)$  akan dipanasi oleh steam (uap panas) dengan laju uap panas  $w(t)$  dan temperatur uap panas  $T_s(t)$ .  $F(t)$  dan  $T(t)$  adalah laju aliran dan temperatur fluida yang meninggalkan tangki. Tangki dianggap *well stirred* yaitu bahwa temperatur aliran fluida yang keluar sama dengan temperatur fluida dalam tangki.

Laju aliran yang masuk  $F_i(t)$  sama dengan laju aliran yang meninggalkan tangki  $F(t)$ . Aliran fluida yang masuk dan yang keluar sering berubah-ubah. Hal ini diperlihatkan pada persamaan kesetimbangan energi berikut ini :

$$\left[ \begin{array}{l} \text{laju akumulasi energi} \\ \text{di dalam tan gki} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{laju energi yang masuk} \\ \text{ke dalam tan gki} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{laju energi} \\ \text{keluar tan gki} \end{array} \right]$$

atau dapat juga ditulis sebagai berikut :

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = F_i(t)\rho C_p T_i(t) + UA[T_s(t) - T(t)] - F(t)\rho C_p T(t) \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan :

$V$  = Volume fluida dalam tangki ( $\text{ft}^3$ )

$\rho$  = Kerapatan fluida ( $\text{lb}/\text{ft}^3$ )

$C_p$  = Kapasitas panas fluida ( $\text{Btu}/\text{lb}^\circ\text{F}$ )

$F_i(t)$  = Laju aliran fluida masukan ( $\text{ft}^3/\text{min}$ )

$F(t)$  = Laju aliran fluida keluaran ( $\text{ft}^3/\text{min}$ )

$T_i(t)$  = Temperatur fluida masukan ( $^\circ\text{F}$ )

$T(t)$  = Temperatur fluida keluaran ( $^\circ\text{F}$ )

$T_s(t)$  = Temperatur uap panas ( $^\circ\text{F}$ )

$U$  = Koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $\text{Btu}/\text{min ft}^2\text{F}$ )

$A$  = Luas perpindahan panas ( $\text{ft}^2$ )

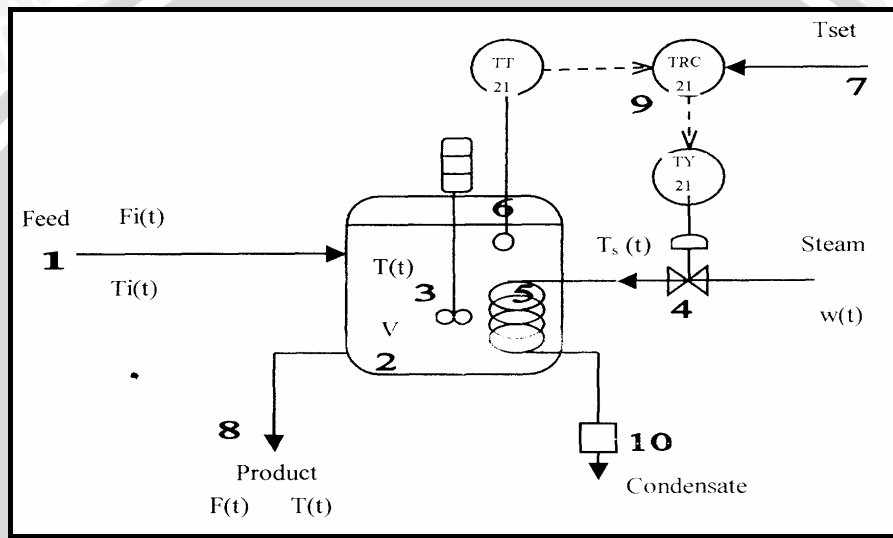
Laju aliran yang masuk  $F_i(t)$  sama dengan laju aliran yang meninggalkan tangki  $F(t)$ . Sehingga persamaan (2.1) menjadi :

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = F(t)\rho C_p T_i(t) + UA[T_s(t) - T(t)] - F(t)\rho C_p T(t) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dari persamaan di atas disimpulkan bahwa sistem tersebut adalah tak linier. Variabel tidak liniernya adalah laju aliran fluida  $F(t)$ .

### 2.1.2 Proses Pengendalian Sistem

Proses pengendalian temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) diperlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.2 Sketsa Pengendalian *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)  
Sumber : Carlos A. Smith dan Armando B. Corripio: 1985: 83

Keterangan :

1. Aliran fluida masukan (*Feed*), dengan laju aliran fluida adalah  $F_i(t)$  dan temperatur fluida  $T_i(t)$
2. Tangki pereaksi
3. Propeler atau kincir, digunakan untuk mencampur fluida didalam tangki pereaksi
4. Katup pengendali *steam* atau uap panas
5. Koil pemanas dengan laju uap panas adalah  $w(t)$  dan temperatur uap panas  $T_s(t)$
6. Sensor temperatur, digunakan untuk mengamati temperatur fluida didalam tangki pereaksi
7. Set poin temperatur ( $T_{set}$ ) yaitu temperatur fluida yang diinginkan

8. *Product* atau keluaran dari *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dengan laju aliran fluida  $F(t)$  dan temperatur fluida  $T(t)$
9. Pengendali, digunakan untuk menentukan kapan katup dibuka atau ditutup
10. *Condensate* atau air kondensasi

Sistem ini akan memanaskan fluida berdasarkan temperatur masukan  $T_i(t)$  dan menghasilkan temperatur keluaran  $T(t)$ . Media yang digunakan untuk memanaskan adalah uap panas. Proses pengontrolan dilakukan dengan tujuan untuk menjaga agar temperatur fluida keluaran  $T(t)$  pada harga tertentu yang diinginkan. Pengukuran temperatur fluida dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut sehingga dapat dibandingkan dengan nilai yang diinginkan. Dari hasil perbandingan tersebut akan diketahui langkah apa yang harus diambil. Jika temperatur fluida keluaran  $T(t)$  melebihi nilai yang diinginkan maka katup uap panas akan ditutup sehingga temperatur fluida yang keluar dari tangki pereaksi menurun. Jika temperatur fluida keluaran  $T(t)$  kurang dari nilai yang diinginkan maka katup uap panas akan dibuka sehingga mempengaruhi temperatur didalam tangki pereaksi.

Propeler atau kincir dalam analisa sistem dianggap sebagai alat tambahan untuk mempercepat reaksi tetapi tidak berpengaruh secara dominan pada reaksi tersebut. Hal ini menjadi dasar dalam pemodelan sistem dengan tidak mengikutsertakan pengaruh kincir.

### 2.1.3 Katub Kendali

Katub kendali digunakan sebagai elemen pengendali akhir yang langsung mengubah variabel manipulasi berdasarkan sinyal yang diterima dari pengendali. Fungsi alih dari katub kendali dapat dinyatakan dalam sistem orde satu sebagai berikut (Smith, Carlos and Armando B. C., 1984):

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

Dimana :

$W(s)$  = laju steam/ uap panas (lb/min)

$M(s)$  = sinyal keluaran pengendali (%)

$K_v$  = gain pengendali katub

$\tau_v$  = konstanta waktu kendali katub

Variasi jatuh tekanan diabaikan, parameter katub  $\alpha=50$  dan aktuator memiliki konstanta waktu  $\tau_v=0,2$  min.

Untuk mendapatkan gain pengendali katub, dilakukan linierisasi persamaan (2.2) di bawah ini (Smith, Carlos and Armando B. C., 1984):

$$\bullet \quad V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = F(t)\rho C_p T_i(t) + UA[T_s(t) - T(t)] - F(t)\rho C_p T(t)$$

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = \bar{F}\rho C_p T_i(t) + UA T_s(t) - (UA + \bar{F}\rho C_p)T(t) - \rho C_p (\bar{T}_i - \bar{T})F(t)$$

Dalam kondisi *steady state* persamaan di atas menjadi :

$$0 = \bar{F}\rho C_p \bar{T}_i + UA(\bar{T}_s - \bar{T}) - \bar{F}C_p \bar{T}$$

$$0 = \bar{F}\rho C_p \bar{T}_i + UA\bar{T}_s - UA\bar{T} - \bar{F}C_p \bar{T}$$

$$UA\bar{T}_s = UA\bar{T} + \bar{F}C_p \bar{T} - \bar{F}\rho C_p \bar{T}_i$$

$$\bar{T}_s = \frac{\bar{F}\rho C_p (\bar{T} - \bar{T}_i)}{UA} + \bar{T}$$

$$\bullet \quad C_M \frac{dT_s}{dt} = \lambda w(t) - UA[T_s(t) - T(t)]$$

Dalam kondisi *steady state* persamaan di atas menjadi :

$$0 = \lambda \bar{W} - UA(\bar{T}_s - \bar{T})$$

$$\bar{W} = \frac{UA(\bar{T}_s - \bar{T})}{\lambda}$$

- Persamaan katub dengan tekanan konstan :

$$w(t) = \bar{W}(\ln \alpha)VP(t)$$

Dengan :

$\alpha$  = parameter katub

$VP(t)$  = posisi valve dalam skala 0-1

#### 2.1.4 Sensor Temperatur

Sensor temperatur digunakan sebagai pembanding nilai temperatur didalam tangki pereaksi dengan temperatur yang diinginkan. Sensor temperatur ini mempunyai lingkup 100-200°F dengan konstanta waktu :

$$\tau_1 = 0.75 \text{ min}$$

Sensor dan transmitter dapat dinyatakan dalam bentuk orde satu (Smith, Carlos and Armando B. C., 1984)

$$\frac{T_{or}(s)}{T(s)} = \frac{K_t}{\tau_1 s + 1}$$

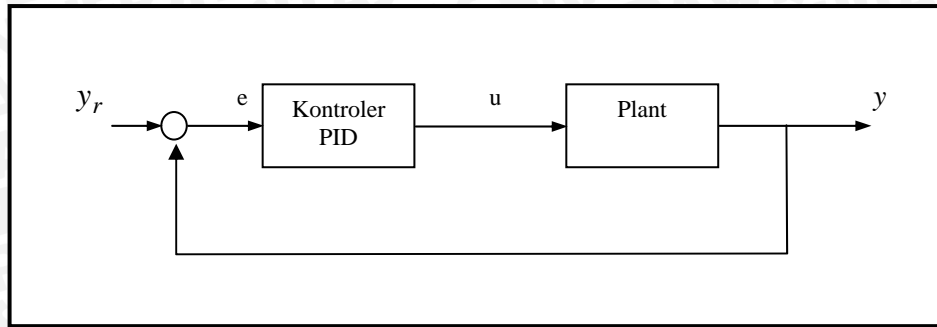
Dengan :

$T_{or}(s)$  = transformasi Laplace dari sinyal keluaran (%)

#### 2.2 Pengendali PID

PID merupakan kepanjangan dari *Proportional-Integral-Derivative*. Kontroler PID digunakan untuk memperbaiki sinyal *error* / kesalahan  $e(t)$ . *Error* merupakan perbedaan antara *set point* dan pengukuran pada *output* / keluaran.

Pengendali PID membandingkan nilai sebenarnya dari output *plant* dengan nilai yang ingin dicapai, menentukan deviasi, dan menghasilkan suatu sinyal kontrol yang akan memperkecil deviasi sampai dengan nol atau sampai suatu nilai terkecil. Cara pengendali menghasilkan sinyal kendali disebut aksi (algoritma) pengendalian. (Ogata,1991,153)



Gambar 2.3 Blok Diagram Pengendali PID  
Sumber : Ogata, 1997

Persamaan pengendali PID secara umum adalah adalah :

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$e(t) = y_r(t) - y(t) \dots\dots\dots(2.4)$$

$u(t)$  = output pengendali

$e(t)$  = error

$K_p$  = gain proporsional

$T_i$  = waktu integral

$T_d$  = waktu turunan

$y_r$  = set point

$y$  = output / keluaran

dan fungsi alihnya adalah

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk contoh dari perioda  $T_s$ , pendekatan persamaannya melalui pendekatan diskrit, yaitu

$$u_n = K_p \left( e_n + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^n e_j T_s + T_d \frac{e_n - e_{n-1}}{T_s} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

index n menunjukkan waktu sesaat.

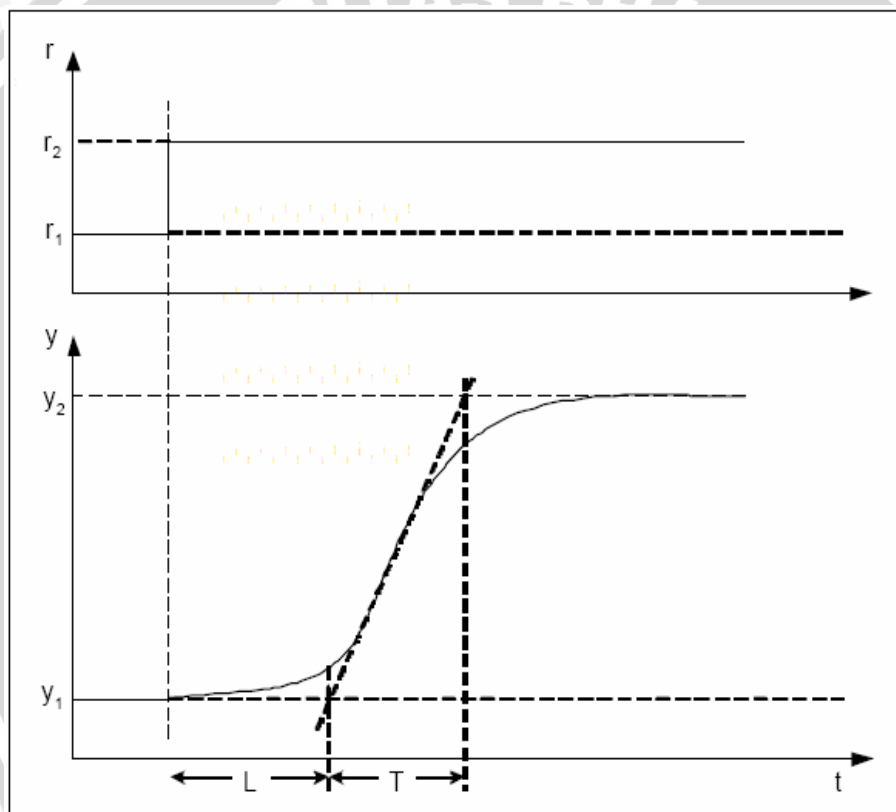


Untuk pengendali proposional murni ( $Td = 0$  dan  $I/Ti = 0$ ), maka persamaan (2.6) diatas menjadi

$$u_n = K_p e_n \dots\dots\dots(2.7)$$

**2.2.1 Metode Penalaan Pengendali PID**

Ada beberapa metode penalaan pengendali PID, salah satu metode yang umum digunakan dalam dunia industri adalah metode *Ziegler-Nichols*. Metode ini banyak digunakan karena kesederhanaan dan efisiensinya.



Gambar 2.4 Output Sistem Terhadap Input Unit Step  
Sumber : Ogata, 1997

Tabel 2.1 Aturan *Ziegler-Nichols*  
Sumber : Ogata, 1997

Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	-	-
PI	0,9 . T/L	L/0,3	-
PID	1,2 . T/L	2 . L	0,5 . L





Metode *Ziegler-Nichols* sendiri mempunyai beberapa macam jenis penalaan, antara lain yaitu metode kurva reaksi (*Reaction Curve Method*). Metode ini menghitung nilai parameter pengendali PID berdasarkan pada output sistem terhadap input unit step pada sistem lup terbuka. Metode kurva reaksi ini, hanya dapat diterapkan pada sistem yang memiliki sifat *self-regulating* dan memiliki output dengan bentuk seperti pada gambar 2.4. Dengan melihat grafik pada tabel 2.1, maka akan didapatkan nilai parameter pengendali PID.

### 2.3 Pengendali Logika Fuzzy

Teorema *fuzzy set* (himpunan *fuzzy*) merupakan perkembangan dari teorema himpunan klasik. Teorema ini pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari University of California di Berkeley, pada tahun 1965. Dalam perkembangannya, aplikasi teorema *fuzzy set* banyak digunakan dalam bidang sistem pengendalian, awalnya dipelopori oleh Prof. Ebrahim Mamdani dari Queen Mary College. Oleh Prof. Ebrahim Mamdani, teorema ini digunakan untuk mengatur berbagai proses pada tangki pencampur dan proses pada mesin uap, dalam skala laboratorium, hingga pada akhirnya dapat diterima masyarakat ilmiah sebagai terobosan di bidang kecerdasan buatan.

Berbeda dengan teori himpunan klasik yang berbasis *two valued logic*, teorema *fuzzy set* ini berdasarkan *multi valued logic*. Dalam teori himpunan berbasis *two valued logic*, derajat keanggotaan elemen-elemen dalam semesta pembicaraan memiliki dua kemungkinan nilai yaitu 0 atau 1. Tetapi, dalam teorema *fuzzy set*, derajat keanggotaan elemen-elemen dimungkinkan memiliki nilai bilangan real 0 sampai dengan 1, dengan penentuan derajat keanggotaan sepenuhnya tergantung yang merancang.

Sebagai sistem cerdas, *fuzzy logic* memiliki kemampuan penalaran seperti halnya manusia. Kemampuan lainnya adalah dapat mengolah data dengan batasan yang kabur (*fuzzy*) untuk mendapatkan keputusan yang akurat. (Kuswadi, 2000)

#### 2.3.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan didefinisikan sebagai kelompok obyek-obyek tertentu yang disebut elemen. Himpunan *fuzzy* didefinisikan dalam semesta himpunan  $U$ ,

himpunan *fuzzy* ditentukan oleh fungsi keanggotaan yang memetakan anggota U ke daerah keanggotaan yang selalu berada dalam interval [0,1].

Himpunan *fuzzy* A dalam semesta pembicaraan U biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen u (u anggota U) dan besar nilai atau derajat keanggotaan (*grade of membership*) elemen tersebut,  $\mu_A$  sebagai berikut :

$$A = \{ (u, \mu_A(u)/u \in U) \} \dots \dots \dots (2.16)$$

Tanda “/” digunakan untuk menghubungkan sebuah elemen dengan derajat keanggotaannya. Jika U adalah diskrit, maka A biasanya dinyatakan dengan :

$$A = \mu_A(u_1)/u_1 + \dots + \mu_A(u_n)/u_n \dots \dots \dots (2.17)$$

atau

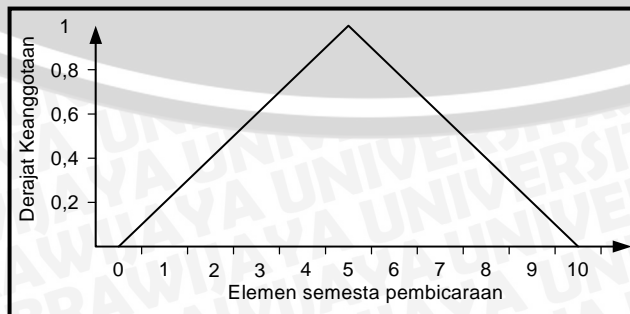
$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i)/u_i \dots \dots \dots (2.18)$$

Dan jika U adalah kontinyu, maka himpunan *fuzzy* bisa dinyatakan dengan :

$$A = \int_U \mu_A(u)/u \dots \dots \dots (2.19)$$

Tanda ‘+’, ‘ $\sum$ ’, dan ‘ $\int$ ’ menyatakan operator union (gabungan). Sebagai contoh, untuk semesta pembicaraan ‘bilangan cacah yang kurang dari 10’ dan himpunan *fuzzy* A yang didefinisikan sebagai ‘bilangan yang dekat dengan 5’, dinyatakan :

$$A = 0/0 + 0.2/1 + 0.4/2 + 0.6/3 + 0.8/6 + 0.6/7 + 0.4/8 + 0.2/9$$



Gambar 2.5 Definisi Himpunan *Fuzzy* A Secara Diagramatik  
 Sumber : Jun Yan, 1994 : 16.



### 2.3.2 Operasi Himpunan Fuzzy

Operasi dasar himpunan *fuzzy* untuk himpunan *fuzzy* A dan B pada semesta pembicaraan U dengan fungsi keanggotaan  $\mu_A(u)$  dan  $\mu_B(u)$ , antara lain: (Ross:1995,27)

#### 1. Persamaan (*equality*)

Himpunan *fuzzy* A dan B dikatakan sama bila kedua himpunan tersebut mempunyai fungsi keanggotaan dan semesta himpunan yang sama.

$$\mu_A(u) = \mu_B(u), \forall u \in U \dots\dots\dots(2.20)$$

#### 2. Gabungan (*union*)

Gabungan (*union*) fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* A dan himpunan *fuzzy* B dinotasikan dengan  $A \vee B$ . Operasi gabungan didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{(A \cup B)}(u) = \max \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}, \forall u \in U \dots\dots\dots(2.21)$$

Operasi gabungan (*union*) diperlihatkan dalam gambar 2.6

#### 3. Irisan (*intersection*)

Irisan (*intersection*) fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* A dan himpunan *fuzzy* B dinotasikan  $A \wedge B$ . Operasi irisan ini didefinisikan :

$$\mu_{(A \cap B)}(u) = \min \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}, \forall u \in U \dots\dots\dots(2.22)$$

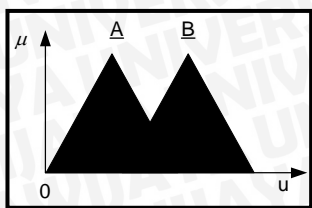
Operasi irisan diperlihatkan dalam gambar 2.7

#### 4. Komplemen (*complement*)

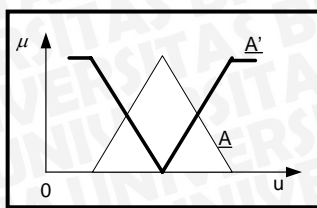
Komplemen himpunan *fuzzy* A dinotasikan sebagai  $A'$ . Operasi komplemen didefinisikan sebagai :

$$\mu_{A'}(u) = 1 - \mu_A(u), \forall u \in U \dots\dots\dots(2.23)$$

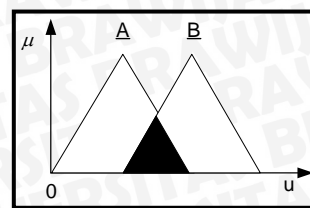
Operasi komplemen himpunan *fuzzy* A diperlihatkan dalam gambar 2.8



Gambar 2.6



Gambar 2.7



Gambar 2.8

Gambar 2.6 Contoh Operasi Gabungan (*Union*) Himpunan Fuzzy A dan B.  
 Gambar 2.7 Contoh Operasi Irisan (*Intersection*) Himpunan Fuzzy A dan B.  
 Gambar 2.8 Contoh Operasi Komplemen (*Complement*) Himpunan Fuzzy A.  
 Sumber : Ross, 1995 : 27

Keempat operasi dalam persamaan (2.20) sampai dengan persamaan (2.23) mempunyai kesamaan dengan operasi himpunan biasa, tetapi pada himpunan fuzzy memiliki perbedaan dengan himpunan biasa, jika terjadi operasi gabungan dan irisan antara himpunan fuzzy dengan komplemennya yaitu tidak berlaku *Hukum Excluded Middle* karena himpunan fuzzy dapat tumpang tindih (*overlapped*) dengan himpunan fuzzy lainnya, sehingga dapat dinyatakan (gambar 2.8).

$$\mu_{A \cap \bar{A}}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_{\bar{A}}(u)\} \leq 0.5 \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\mu_{A \cup \bar{A}}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_{\bar{A}}(u)\} \geq 0.5 \dots\dots\dots (2.25)$$



Gambar 2.9 Contoh Operasi Komplemen Khusus.  
 Sumber : Ross, 1995 : 29.

### 2.3.3 Struktur Dasar Pengendali Logika Fuzzy

Konfigurasi dasar sistem logika fuzzy ditunjukkan oleh gambar 2.10.

Konfigurasi ini terdiri atas 4 komponen utama :

#### 1. Perangkat fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan pemetaan nilai-nilai masukan ke bentuk himpunan-himpunan fuzzy dalam semesta pembicaraan tertentu. Data masukan yang biasanya tegas (*crisp*) perlu ditransformasikan ke dalam besaran fuzzy.



## 2. Basis pengetahuan

Terdiri atas basis data yang menyediakan definisi untuk himpunan masukan dan keluaran serta basis kaidah yang merupakan kumpulan pernyataan linguistik yang berfungsi sebagai kaidah atur *fuzzy*, diimplementasikan dalam bentuk pernyataan bersyarat “jika-maka”.

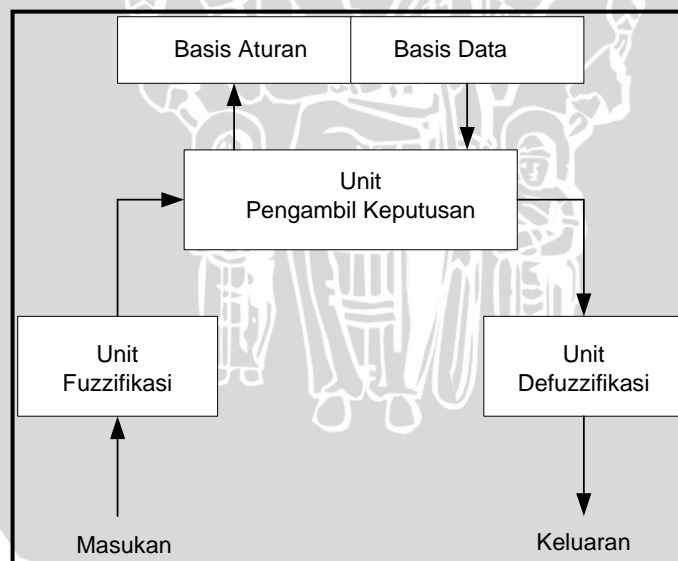
## 3. Logika pengambilan keputusan

Ada dua mekanisme penalaran *fuzzy* yang sering dipergunakan dalam aplikasi yaitu kaidah operasi *max-min Mamdani* dan kaidah operasi *max-product Lauren*.

## 4. Perangkat defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan pemetaan dari ruang aksi atur *fuzzy* yang ditentukan meliputi himpunan semesta keluaran ke ruang aksi atur *crisp (non fuzzy)*.

Struktur pengendali logika *fuzzy* dasar diperlihatkan dalam gambar 2.10.



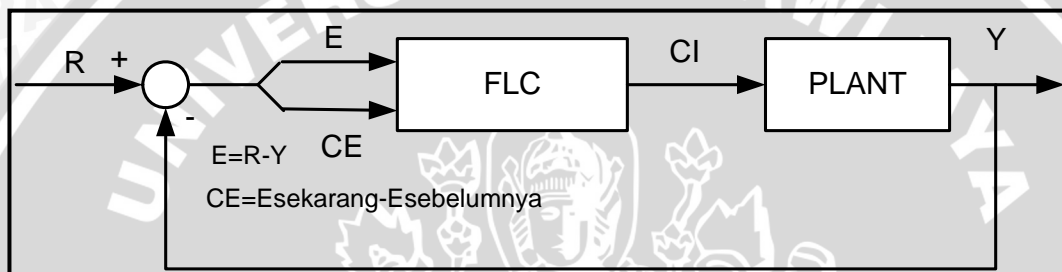
Gambar 2.10 Struktur Pengendali Logika *Fuzzy* Dasar.  
Sumber : Jun Yan, 1994 : 47.

Nilai output ke dan dari pengendali berbentuk *crisp*, operator fuzzifikasi memetakan *crisp* ke dalam bentuk *fuzzy* dan operator defuzzifikasi memetakan *fuzzy* ke dalam bentuk *crisp*. Suatu pengendali pada dasarnya bertujuan untuk mengontrol *plant* agar output yang diinginkan sesuai dengan nilai referensi atau

titik acu sehingga *error* atau kesalahan antara refensi dan nilai keluaran *plant* sama dengan nol.

Kaidah atur untuk menentukan aksi pengendalian ditentukan dengan menggunakan kaidah atur pendekatan tabel. Dengan menggunakan pembagian keanggotaan himpunan *fuzzy* yang tepat untuk variabel masukan dan keluaran maka performansi sistem yang baik dapat terpenuhi.

Suatu sistem dengan *loop* tertutup diperlihatkan dalam gambar 2.11, variabel masukan yang digunakan berupa *error* (E) dan perubahan *error* (CE), sedangkan variabel keluaran berupa aksi pengendalian (CI).



Gambar 2.11 Sistem Pengendalian Lup Tertutup dengan Logika *Fuzzy*  
 Sumber : Jun Yan, 1994 : 58.

Dimisalkan variabel masukan dan variabel keluaran diwakili (N,Z,P) dengan N mewakili negatif, Z mewakili nol dan P mewakili positif. Basis aturan untuk pengendalian ditentukan :

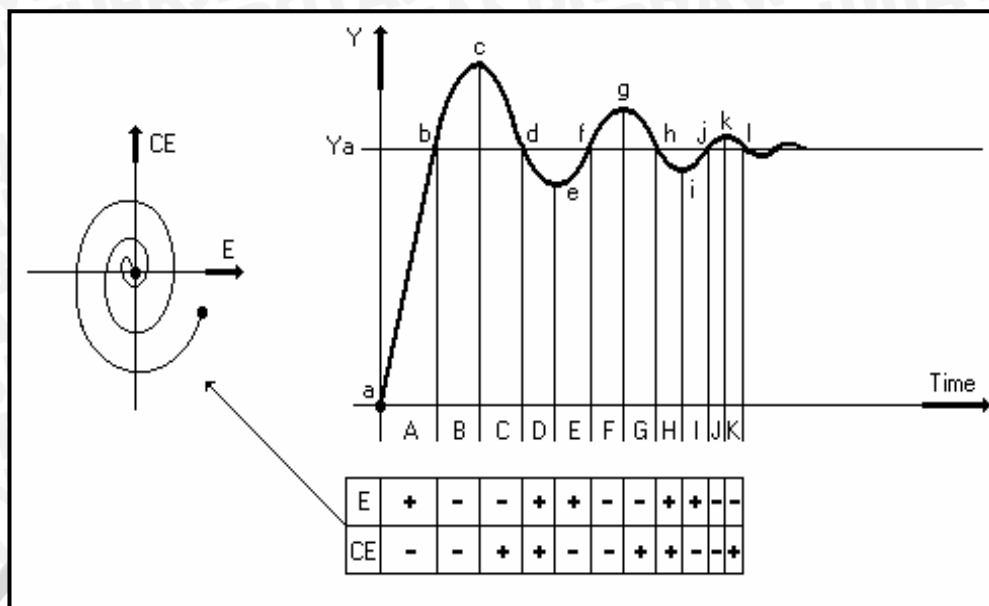
**Type I**, berfungsi untuk memperpendek waktu naik , contoh : titik a

IF E adalah P AND CE adalah Z THEN CI adalah P

**Type II**, berfungsi untuk mengurangi lonjakan yang terjadi, contoh : daerah B

IF E adalah N AND CE adalah N THEN CI adalah N

Keadaan ini ditunjukkan dalam gambar 2.12



Gambar 2.12 Respon Step Terhadap Waktu dan Bidang Fasa.  
 Sumber: Jun Yan, 1994 : 59.

Dari gambar 2.12 maka kaidah atur yang diperoleh seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel Kaidah Atur untuk Himpunan Fuzzy N, Z dan P  
 Sumber : Jun Yan, 1994 : 59

Aturan	E	CE	CI	Referensi	Fungsi
1	P	Z	P	titik a, e, i	mengurangi waktu naik
2	Z	N	N	titik b, f, j	mengurangi lonjakan
3	N	Z	N	titik c, g, k	mengurangi lonjakan
4	Z	P	P	titik d, h, l	mengurangi osilasi
5	Z	Z	Z	set point	menghentikan aksi kontrol
6	P	N	P	daerah A, E	mengurangi waktu naik
7	N	N	N	daerah B, F, J	mengurangi lonjakan
8	N	P	N	daerah C, G	mengurangi lonjakan
9	P	P	P	daerah D, H	mengurangi osilasi
10	P	N	Z	daerah I	menghentikan aksi kontrol
11	N	P	Z	daerah K	menghentikan aksi kontrol

Jika ditentukan variabel E dan CE dibagi tujuh variabel, Negatif Besar (NB), Negatif Sedang (NS), Negatif Kecil (NK), Sekitar Nol (SN), Positif Kecil (PK), Positif Sedang (PS), dan Positif Besar (PB), maka kaidah atur yang diperoleh diperlihatkan dalam Tabel 2.3.

**Tabel 2.3 Tabel Kaidah Atur**  
**Sumber : Jun Yan, 1994 : 60**

E	NB	NS	NK	SN	PK	PS	PB
CE							
PB	SN	PK	PS	PB	PB	PB	PB
PS	NK	SN	PK	PS	PB	PB	PB
PK	NS	NK	SN	PK	PS	PB	PB
SN	NB	NS	NK	SN	PK	PS	PB
NK	NB	NB	NS	NK	SN	PK	PS
NS	NB	NB	NB	NS	NK	SN	PK
NB	NB	NB	NB	NB	NS	NK	SN

Dari Tabel 2.3 diperlihatkan bahwa aksi kontrol (CI) merupakan penjumlahan variabel-variabel masukannya. Secara lengkap, kaidah atur diperlihatkan dalam Tabel 2.4. Tabel kaidah atur ini dikenal sebagai kaidah atur Mac Vicar-Whelam. (Jun Yan, 1994 : 61).

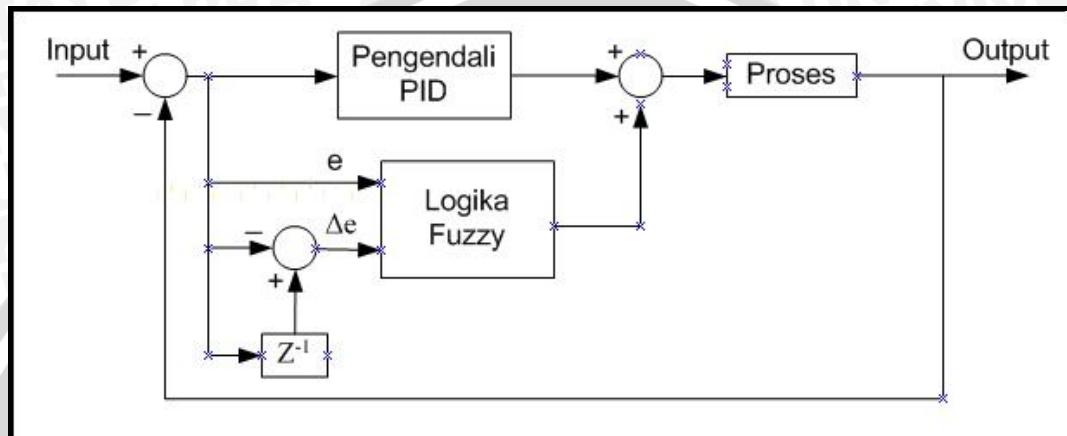
**Tabel 2.4 Tabel Kaidah Atur dalam Bentuk Matrik**  
**Sumber : Jun Yan, 1994 : 60**

Aturan	E	CE	CI	Referensi	Fungsi
1	PB	SN	PB	Titik a	Pemendekan waktu naik
2	PS	SN	PS	Titik e	Pemendekan waktu naik
3	PK	SN	PK	Titik I	Pemendekan waktu naik
4	SN	NB	NB	Titik b	Mengurangi lonjakan
5	SN	NS	NS	Titik f	Mengurangi lonjakan
6	SN	NK	NK	Titik j	Mengurangi lonjakan
7	NB	SN	NB	Titik c	Mengurangi lonjakan
8	NS	SN	NS	Titik g	Mengurangi lonjakan
9	NK	SN	NK	Titik k	Mengurangi lonjakan
10	SN	PB	PB	Titik d	Mengurangi osilasi
11	SN	PS	PS	Titik h	Mengurangi osilasi
12	SN	PK	PK	Titik l	Mengurangi osilasi
13	SN	SN	SN	Titik atur	Sistem Dipertahankan
14	PB	NK	PS	Daerah A	Pemendekan waktu naik
15	PK	NB	NS	Daerah A	Mengurangi lonjakan
16	NB	PS	NS	Daerah C	Mengurangi lonjakan
17	NK	PB	PS	Daerah C	Mengurangi osilasi
18	PK	NK	SN	Daerah I	Sistem Dipertahankan
19	NS	PK	SN	Daerah K	Sistem Dipertahankan



## 2.4 Pengendali Hybrid PID-Fuzzy

Sistem pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* dikembangkan oleh OMRON's *Industrial temperature regulator*. Sistem utama adalah kendali PID, sedangkan logika *fuzzy* disini berfungsi untuk memperbaiki respon dan *recovery time* terhadap gangguan (*disturbance*).

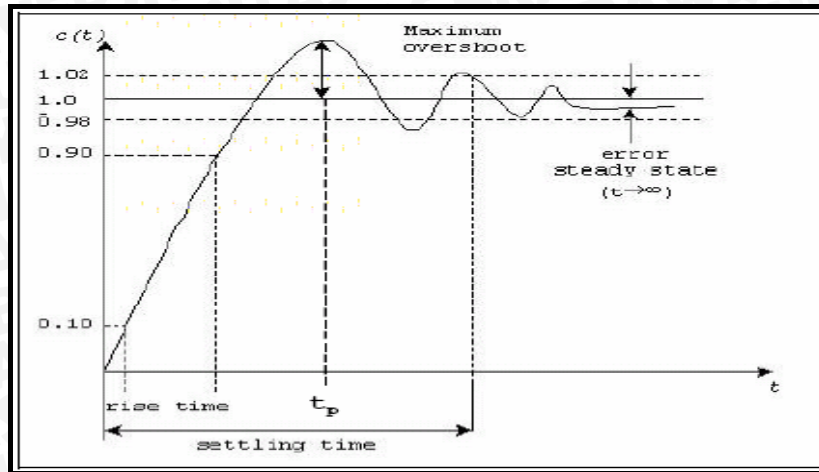


Gambar 2.13 Diagram Blok Pengendali Hybrid PID-Fuzzy  
Sumber : Felix P. & Thiang, 2000

Output dari *fuzzy control unit* yang dihasilkan mempunyai beban lebih kecil dari pada kendali PID, artinya *range* dari output *membership function* telah ditetapkan yaitu  $+U_{max}$  dan  $-U_{max}$ , dimana harga  $U_{max}$  lebih kecil dari harga pengendali PID. Pada penelitian ini, beban yang diberikan pada pengendali *Fuzzy* adalah 50% dari beban pengendali PID. (Felix P. & Thiang, 2000).

## 2.5 Kriteria Performansi

Dalam penelitian ini, performansi (unjuk kerja) sistem yang baik merupakan tujuan dari pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. Sistem dinyatakan memiliki performansi yang baik jika memenuhi kriteria performansi yang ditetapkan yaitu *settling time*, *rise time*, *maximum overshoot* dan *error steady state*. Pendefinisian kriteria performansi berdasarkan grafik respon sistem diperlihatkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kriteria Performansi Sistem  
Sumber : Ogata, 1995

Harga 1 pada gambar 2.14 menunjukkan nilai *setpoint* atau harga akhir yang ingin dicapai oleh sistem.

**2.5.1 Settling Time**

*Settling time* ( $t_s$ ) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan respon untuk menurun dan menetap di dalam presentase harga akhir (2% atau 5%).

**2.5.2 Rise Time**

*Rise time* ( $t_r$ ) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% ke 90% nilai *setpoint*.

**2.5.3 Maximum Overshoot**

*Maximum overshoot* ( $M_p$ ) didefinisikan sebagai selisih antara harga maksimum yang dicapai oleh respon terhadap *setpoint*. Pada gambar 2.15 terlihat bahwa *maximum overshoot* terjadi pada *overshoot* pertama kali.

Pada gambar 2.14, *maximum overshoot* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.26)$$

Perlu ditambahkan di sini bahwa  $M_p$  dihitung ketika respon belum berada pada keadaan *steady state* (keadaan tunak).

#### 2.5.4 Error Steady State

Secara ideal, respon yang dihasilkan oleh sistem pada keadaan tunak ( $t \rightarrow \infty$ ) harus berimpit dengan *setpoint* yang diberikan. Pada keadaan tunak selalu terdapat selisih antara respon dinamik sistem dengan nilai *setpoint*. Selisih inilah yang kemudian didefinisikan sebagai *error steady state* ( $e_{ss}$ ). Dengan kata lain *ess* menunjukkan tingkat akurasi akhir sistem.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi pengendalian temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Untuk memperoleh hasil sesuai dengan kebutuhan digunakan pengendali *hybrid PID-Fuzzy*. Pemodelan, parameter dan spesifikasi sistem yang digunakan dalam simulasi mengacu pada model *simulink* dan data-data teknis dari referensi. Selanjutnya sistem secara keseluruhan akan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *Simulink MATLAB Environment 7.0.4 service pack 2, Release 14*.

Untuk memudahkan penyusunan tugas akhir ini, penyusun membagi tahap pengerjaannya menjadi:

1. Pengambilan data dan studi literatur
2. Penyusunan model matematika sistem
3. Perancangan sistem kendali PID-Fuzzy
4. Simulasi sistem
5. Analisis hasil simulasi
6. Penarikan kesimpulan dan saran

#### 3.1 Pengambilan Data dan Studi Literatur

Data yang dipakai merupakan data sekunder yang didapat dari penelitian sebelumnya (Yusuf, Rizaldi, 2006. *Pengendalian Temperatur pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Nonlinier dengan Menggunakan Pengendali Fuzzy*). Data-data tersebut meliputi sistem yang akan diteliti, parameter-parameter dan komponen-komponen yang menyusun sistem tersebut, yang meliputi:

- Mekanisme kerja dan proses pengendalian temperatur pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)
- Katub kendali
- Sensor temperatur

Studi literatur dilakukan untuk mengkaji teori yang berkaitan dengan penyelesaian masalah dalam penelitian ini, meliputi :

- Teori tentang pengendali PID

- Teori logika *fuzzy* baik susunannya maupun implementasinya
- Teori tentang *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

Data parameter dan komponen utama pada sistem ini adalah sebagai berikut:

### 1. Proses

- Volume fluida dalam tangki,  $V$  = 120 ft<sup>3</sup>
- Kerapatan fluida,  $\rho$  = 68 lb/ft<sup>3</sup>
- Kapasitas panas fluida,  $C_p$  = 0,8 Btu/lb°F
- Laju aliran fluida masukan,  $F(t)$  = 15 ft<sup>3</sup>/min
- Temperatur uap panas,  $T_s(t)$  = 200°F
- Koefisien perpindahan panas keseluruhan,  $U$  = 2,1 Btu/min ft<sup>2</sup>°F
- Luas perpindahan panas,  $A$  = 241,5 ft<sup>2</sup>
- Panjang kumparan pipa pemanas = 205 ft
- Diameter kumparan pipa pemanas = 4 inchi
- Tekanan uap panas = 30 psia
- Panas steam terkondensasi = 966 Btu/lb
- Kapasitas panas pipa lilitan,  $C_M$  = 265,7 Btu/°F

### 2. Sensor

- Terkalibrasi pada range 100°F - 200°F
- Konstanta waktu,  $\tau_i$  = 0,75 min

### 3. Kontrol Valve

- Karakteristik = equal percentage
- Aktuator = diafragma
- Konstanta waktu,  $\tau_v$  = 0,2 min
- Parameter katub,  $\alpha$  = 50
- Laju aliran steam,  $W_{\max}$  = 84,4 lb/min

### 3.2 Penyusunan Model Matematika Sistem

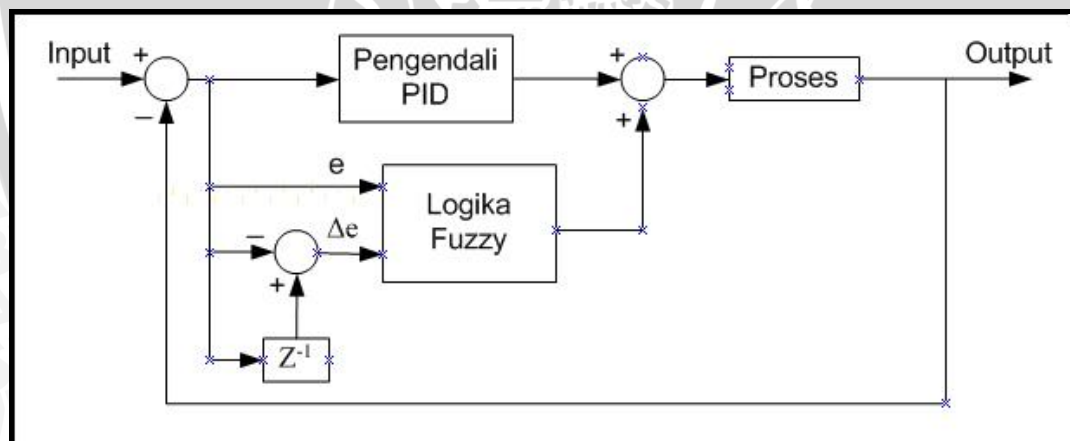
Pada bagian ini akan dibahas proses pemodelan matematika sistem pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* serta pemodelan komponen sistem pengendalian yang terkait.

### 3.3 Perancangan sistem pengendali PID-Fuzzy

Untuk merancang suatu pengendali PID-Fuzzy dilakukan tahap-tahap sebagai berikut:

- Menentukan nilai-nilai parameter pengendali PID dengan metode *Ziegler-Nichols*
- Menentukan range himpunan *Fuzzy* dan aturan-aturannya dengan metode *trial and error*. Dalam hal ini range beban untuk pengendali logika fuzzy adalah 50% dari pengendali PID
- Menggabungkan kedua jenis pengendali dengan cara menjumlahkan keluarannya

Diagram blok sistem secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Blok Sistem Pengendalian Temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

Berdasarkan diagram blok diatas, pengendali berfungsi menghasilkan sinyal yang sesuai, sehingga temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dapat diatur. Sinyal yang dihasilkan oleh pengendali merupakan sinyal gabungan antara pengendali PID dan *Fuzzy*.

### 3.4 Simulasi sistem

Simulasi dilakukan untuk mengetahui performansi sistem yang sudah dirancang dengan menggunakan *simulink* MATLAB 7.0.4. Simulasi ini meliputi simulasi sistem dengan menggunakan pengendali PID dan dengan menggunakan pengendali PID-*Fuzzy*.

### 3.5 Analisa hasil simulasi

Analisa respon meliputi penentuan *settling time* ( $t_s$ ) dengan kriteria osilasi 5% dari *setpoint*, *rise time* ( $t_r$ ), *maximum overshoot* ( $M_p$ ), *error steady state* ( $ess$ ) dan waktu perbaikan (*recovery time*) terhadap gangguan yang diberikan. Respon sistem pada penelitian ini juga akan dibandingkan dengan respon sistem yang menggunakan pengendali PID sebelum digabung dengan pengendali logika *Fuzzy*.

### 3.6 Penarikan kesimpulan dan saran

Mengambil kesimpulan yang didapat dari hasil analisis simulasi pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dengan menggunakan pengendali PID-*Fuzzy*, serta pemberian saran untuk diperbaiki dan dikembangkan di masa yang akan datang.

## BAB IV PEMODELAN SISTEM

### 4.1 Pemodelan Matematika Sistem

Dinamika proses pengendalian temperatur dapat dinyatakan dengan kesetimbangan energi, yaitu laju akumulasi energi di dalam tangki sama dengan laju energi yang masuk ke dalam tangki dikurangi dengan laju energi yang keluar tangki.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{laju akumulasi energi} \\ \text{di dalam tan gki} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{laju energi yang masuk} \\ \text{ke dalam tan gki} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{laju energi} \\ \text{keluar tan gki} \end{array} \right]$$

Persamaan kesetimbangan energi pada fluida dalam tangki reaktor :

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = F_i(t)\rho C_p T_i(t) + q(t) - F(t)\rho C_p T(t) \dots\dots\dots(4.1)$$

Atau dapat juga dinyatakan sebagai berikut :

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = F_i(t)\rho C_p T_i(t) + UA[T_s(t) - T(t)] - F(t)\rho C_p T(t) \dots\dots\dots(4.2)$$

dengan :

- $V$  = Volume fluida dalam tangki (ft<sup>3</sup>)
- $\rho$  = Kerapatan fluida (lb/ft<sup>3</sup>)
- $C_p$  = Kapasitas panas fluida (Btu/lb<sup>o</sup>F)
- $F_i(t)$  = Laju aliran fluida masukan (ft<sup>3</sup>/min)
- $F(t)$  = Laju aliran fluida keluaran (ft<sup>3</sup>/min)
- $T_i(t)$  = Temperatur fluida masukan (°F)
- $T(t)$  = Temperatur fluida keluaran (°F)
- $T_s(t)$  = Temperatur uap panas (°F)
- $q(t)$  = Perpindahan panas ke lingkungan (Btu/min)





$U$  = Koefisien perpindahan panas keseluruhan (Btu/min ft<sup>2</sup>°F)

$A$  = Luas perpindahan panas (ft<sup>2</sup>)

Asumsi yang berlaku pada model *plant* ini adalah sebagai berikut :

- Tangki dianggap *well stirred* yaitu bahwa temperatur aliran fluida yang keluar sama dengan temperatur fluida dalam tangki.
- Laju aliran fluida yang masuk  $F_i(t)$  sama dengan laju aliran fluida yang meninggalkan tangki  $F(t)$ .
- Temperatur fluida yang masuk adalah konstan.
- Volume fluida dalam tangki adalah konstan.
- Kehilangan panas diabaikan.
- Kerapatan fluida adalah konstan.

Persamaan (4.2) dapat pula ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dT(t)}{dt} = F(t) \frac{1}{V} T_i(t) + \frac{UA}{V\rho C_p} [T_s(t) - T(t)] - F(t) \frac{1}{V} T(t) \dots\dots\dots (4.3)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa sistem tersebut merupakan sistem yang tak linier karena tidak memenuhi prinsip superposisi.

Prinsip superposisi yaitu apabila tanggapan sistem akibat beberapa masukan yang bekerja secara serempak sama dengan jumlah tanggapan dari tiap masukan yang bekerja secara sendiri-sendiri.

Contoh :

$$y(t) = 2x_1(t) + x_2(t)$$

dimana

$$x_1(t) = t ; x_2(t) = t^2 \text{ dan } y(t) = \text{keluaran}$$

Tanggapan sistem akibat masukan yang bekerja secara serempak :

$$y(t) = 2t + t^2$$

Tanggapan sistem akibat masukan yang bekerja secara sendiri-sendiri :

$$y_1(t) = 2t, \text{ untuk } x_2(t) = 0 \quad ; \quad y_2(t) = t^2, \text{ untuk } x_1(t) = 0$$

$$y_{total}(t) = y_1(t) + y_2(t)$$

$$y_{total} = 2t + t^2 \text{ (memenuhi prinsip superposisi)}$$

Sedangkan pada persamaan (4.3) :

$$\frac{dT(t)}{dt} = F(t) \frac{1}{V} T_i(t) + \frac{UA}{V\rho C_p} [T_s(t) - T(t)] - F(t) \frac{1}{V} T(t) \dots\dots\dots(4.4)$$

Misal :

$$T(t) = x \quad ; \quad F(t) = t \quad ; \quad T_i(t) = t^2 \quad ; \quad T_s(t) = t^3 \quad \text{dan} \quad Y = \frac{dT(t)}{dt} = \text{keluaran}$$

Sehingga persamaan di atas menjadi :

$$Y = F(t) \frac{1}{V} T_i(t) + \frac{UA}{V\rho C_p} [T_s(t) - x] - F(t) \frac{1}{V} x \dots\dots\dots(4.5)$$

Tanggapan sistem akibat masukan yang bekerja secara serempak :

$$Y = \frac{1}{V} t^3 + \frac{UA}{V\rho C_p} [t^3 - x] - \frac{t}{V} x \dots\dots\dots(4.6)$$

Tanggapan sistem akibat masukan yang bekerja secara sendiri-sendiri :

- Untuk  $F(t) = 0$  ;  $T_i(t) = 0$  dan  $T_s(t) = t^3$

$$Y_1 = \frac{UA}{V\rho C_p} [t^3 - x]$$

- Untuk  $F(t) = 0$  ;  $T_s(t) = 0$  dan  $T_i(t) = t^2$

$$Y_2 = -\frac{UA}{V\rho C_p} x$$

- Untuk  $T_i(t) = 0$  ;  $T_s(t) = 0$  dan  $F(t) = t$

$$Y_3 = -\frac{UA}{V\rho C_p} x - \frac{t}{V} x$$

$$Y_{total} = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

$$Y_{total} = \frac{UA}{V\rho C_p} [t^3 - x] - \frac{UA}{V\rho C_p} x - \frac{UA}{V\rho C_p} x - \frac{t}{V} x$$

$$Y_{total} = \frac{UA}{V\rho C_p} [t^3 - x] - 2 \frac{UA}{V\rho C_p} x - \frac{t}{V} x$$

Dapat dilihat bahwa sistem tersebut adalah tidak linier karena tidak memenuhi prinsip superposisi, yaitu tanggapan sistem akibat masukan yang bekerja secara serempak tidak sama dengan tanggapan sistem akibat masukan yang bekerja secara sendiri-sendiri. Untuk mendapatkan model matematis proses, persamaan (4.3) dapat pula ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dT(t)}{dt} + \left( \frac{UA}{V\rho C_p} + \frac{1}{V} \hat{F} \right) T(t) = \hat{F} \frac{1}{V} T_i(t) + \frac{UA}{V\rho C_p} T_s(t) \dots\dots\dots(4.7)$$

Persamaan di atas kemudian ditransformasi Laplace :

$$sT(s) + \left( \frac{UA}{V\rho C_p} + \frac{1}{V} \hat{F} \right) T(s) = \hat{F} \frac{1}{V} T_i(s) + \frac{UA}{V\rho C_p} T_s(s) \dots\dots\dots(4.8)$$

Sehingga didapatkan persamaan seperti di bawah ini :

$$T(s) = \frac{\hat{F} \frac{1}{V} T_i(s) + \frac{UA}{V\rho C_p} T_s(s)}{s + \frac{UA + \rho C_p \hat{F}}{V\rho C_p}} \dots\dots\dots(4.9)$$

Persamaan kesetimbangan energi pada koil :

$$C_M \frac{dT_s}{dt} = w(t)\lambda - UA[T_s(t) - T(t)] \dots\dots\dots(4.10)$$

dengan :

$w(t)$  = Laju steam/uap panas (lb/min)

$C_M$  = Kapasitas panas pada koil (Btu/°F)

$\lambda$  = Panas steam terkondensasi (Btu/lb)

Persamaan (4.10) dapat pula ditulis seperti berikut ini :

$$\frac{dT_s(t)}{dt} + \frac{UA}{C_M} T_s(t) = \frac{\lambda}{C_M} w(t) + \frac{UA}{C_M} T(t) \dots\dots\dots(4.11)$$

Persamaan di atas kemudian ditransformasi Laplace :

$$sT_s + \frac{UA}{C_M}T_s(s) = \frac{\lambda}{C_M}w(s) + \frac{UA}{C_M}T(s) \dots\dots\dots(4.12)$$

Sehingga didapatkan persamaan seperti di bawah ini :

$$T_s(t) = \frac{\frac{\lambda}{C_M}w(s) + \frac{UA}{C_M}T(s)}{s + \frac{UA}{C_M}} \dots\dots\dots(4.13)$$

Substitusi persamaan (4.13) ke persamaan (4.9) sehingga didapatkan :

$$T(s) = \frac{\hat{F} \frac{1}{V} T_i(s) + \frac{UA}{V\rho C_p} \left[ \frac{\frac{\lambda}{C_M}w(s) + \frac{UA}{C_M}T(s)}{s + \frac{UA}{C_M}} \right]}{s + \frac{UA + \rho C_p \hat{F}}{V\rho C_p}} \dots\dots\dots(4.14)$$

$$T(s) = \frac{\frac{\hat{F}}{V} \left[ s + \frac{UA}{C_M} \right] T_i(s) + \frac{UA\lambda}{V\rho C_p C_M} w(s) + \frac{(UA)^2}{V\rho C_p C_M} T(s)}{s + \frac{UA}{C_M}} \dots\dots\dots(4.15)$$

$$T(s) = \frac{\frac{\hat{F}}{V} \left[ s + \frac{UA}{C_M} \right] T_i(s) + \frac{UA\lambda}{V\rho C_p C_M} w(s)}{\left( s + \frac{UA}{C_M} \right) \left( s + \frac{UA + \rho C_p \hat{F}}{V\rho C_p} \right) - \frac{(UA)^2}{V\rho C_p C_M}} \dots\dots\dots(4.16)$$

$$T(s) = \frac{\frac{\hat{F}}{V} \left( s + \frac{UA}{C_M} \right)}{s^2 + \left( \frac{UA}{C_M} + \frac{UA}{V\rho C_P} + \frac{\hat{F}}{V} \right) s + \frac{UA\hat{F}}{VC_M}} T_i(s) + \frac{\frac{UA\lambda}{V\rho C_P C_M}}{s^2 + \left( \frac{UA}{C_M} + \frac{UA}{V\rho C_P} + \frac{\hat{F}}{V} \right) s + \frac{UA\hat{F}}{VC_M}} w(s) \dots (4.17)$$

#### 4.1.1 Model Matematika Katub Kendali

Fungsi alih dari pengendali katub dapat dinyatakan sebagai sistem orde satu sebagai berikut (Sumber: Smith, Carlos and Armando B. C., 1984) :

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

Dimana:

$W(s)$  = laju steam/ uap panas (lb/min)

$M(s)$  = sinyal keluaran pengendali (%)

$K_v$  = gain pengendali katub

$\tau_v$  = konstanta waktu kendali katub

Variasi jatuh tekanan diabaikan, parameter katub  $\alpha = 50$  dan aktuator memiliki konstanta waktu  $\tau_v = 0,2$  min.

Untuk mendapatkan gain pengendali katub, dilakukan linierisasi persamaan (2.2) di bawah ini (Smith, Carlos and Armando B. C., 1984):

$$\bullet \quad V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = F(t)\rho C_p T_i(t) + UA[T_s(t) - T(t)] - F(t)\rho C_p T(t)$$

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = \bar{F}\rho C_p T_i(t) + UA T_s(t) - (UA + \bar{F}\rho C_p) T(t) - \rho C_p (\bar{T}_i - \bar{T}) F(t)$$

Dalam kondisi steady state persamaan di atas menjadi :

$$0 = \bar{F}\rho C_p \bar{T}_i + UA(\bar{T}_s - \bar{T}) - \bar{F}C_p \bar{T}$$

$$0 = \bar{F}\rho C_p \bar{T}_i + UA\bar{T}_s - UA\bar{T} - \bar{F}C_p \bar{T}$$

$$UA\bar{T}_s = UA\bar{T} + \bar{F}C_p \bar{T} - \bar{F}\rho C_p \bar{T}_i$$

$$\bar{T}_s = \frac{\bar{F}\rho C_p (\bar{T} - \bar{T}_i)}{UA} + \bar{T}$$

Dengan memasukkan data yang ada, diperoleh :

$$\bar{T}_s = \frac{(15)(68)(0.8)(150 - 100)}{(2.1)(241.5)} + 150 = 230^\circ F$$

- $$C_M \frac{dT_s}{dt} = \lambda w(t) - UA[T_s(t) - T(t)]$$

Dalam kondisi steady state persamaan di atas menjadi :

$$0 = \lambda \bar{W} - UA(\bar{T}_s - \bar{T})$$

$$\bar{W} = \frac{UA(\bar{T}_s - \bar{T})}{\lambda}$$

Dengan memasukkan data yang didapatkan, diperoleh :

$$\bar{W} = \frac{(2.1)(241.5)(230 - 150)}{966} = 42.2 \text{ lb/min}$$

- Persamaan katub dengan tekanan konstan :

$$w(t) = \bar{W}(\ln \alpha) VP(t)$$

Dengan:

$\alpha$  = parameter katub

$VP(t)$  = posisi valve dalam skala 0-1

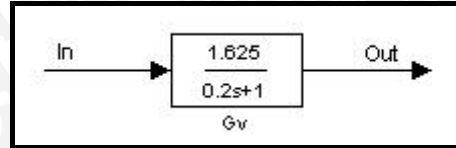
Aktuator katub kendali (orde satu)

$$VP(s) = \frac{1}{\tau_v} M(s)$$

$$K_v = \frac{\bar{W}(\ln \alpha)}{100}$$

$$K_v = \frac{(42.2)(\ln 50)}{100} = 1.652 \text{ lb/min} - \%$$

$$G_v = \frac{W(s)}{M(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} = \frac{1.652}{0.2s + 1}$$



Gambar 4.1 Blok Diagram Katub Kendali  
Sumber : Perancangan

### 4.1.2 Model Matematika Sensor Temperatur

Sensor dan transmitter dapat dinyatakan dalam bentuk orde satu (Smith, Carlos and Armando B. C., 1984)

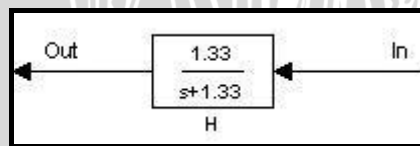
$$\frac{T_{ot}(s)}{T(s)} = \frac{K_t}{\tau_1 s + 1}$$

dimana :

$T_{ot}(s)$  = transformasi Laplace sinyal keluaran (%)

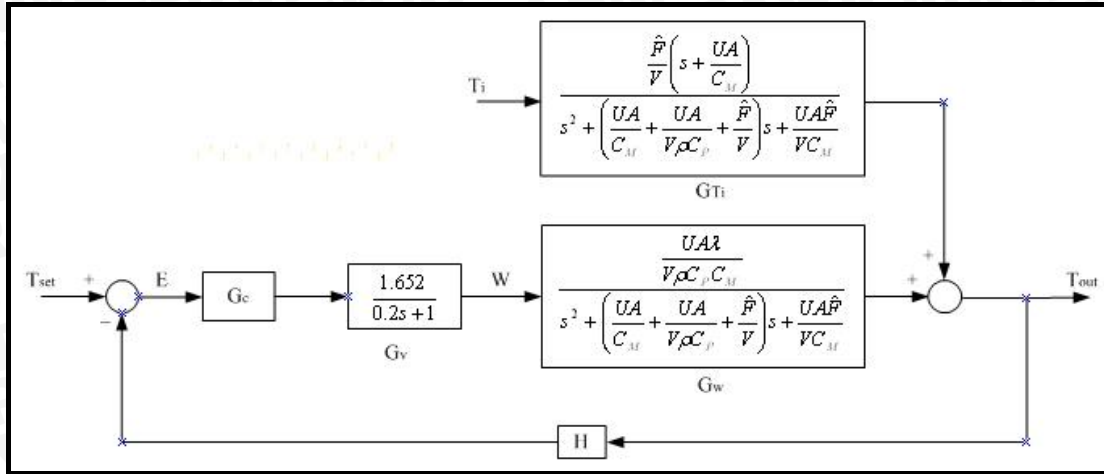
Sensor temperatur mempunyai lingkup 100-200°F dengan konstanta waktu  $\tau_1 = 0.75$  min . Dengan memasukkan data yang ada, diperoleh :

$$H = \frac{T_{ot}(s)}{T(s)} = \frac{1}{0.75s + 1} = \frac{1.33}{s + 1.33}$$



Gambar 4.2 Blok Diagram Umpan Balik  
Sumber : Perancangan

Dari pemodelan setiap subsistem di atas, dapat diperoleh diagram blok sistem pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* sebagai berikut :



Gambar 4.3 Blok Diagram Sistem Pengendalian Temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*  
 Sumber : Perancangan

$$T = \frac{G_C K_V G_W}{1 + G_C K_V G_W H} T_{SET} + \frac{G_{T_i}}{1 + G_C K_V G_W H} T_i$$

Aksi kontrol dinotasikan dengan  $G_C$ , elemen umpan balik dinotasikan dengan  $H$  dan katub kendali dinotasikan dengan  $G_V$  dalam blok diagram. Sedangkan :

- $$G_W = \frac{\frac{UA\lambda}{V\rho C_p C_M}}{s^2 + \left(\frac{UA}{C_M} + \frac{UA}{V\rho C_p} + \frac{\hat{F}}{V}\right)s + \frac{UA\hat{F}}{VC_M}}$$

$$= \frac{(2.1)(241.5)(966)}{(120)(68)(0.8)(265.7)}$$

$$= \frac{0.28245}{s^2 + \left(\frac{(2.1)(241.5)}{265.7} + \frac{(2.1)(241.5)}{(120)(68)(0.8)} + \frac{15}{120}\right)s + \frac{(15)(2.1)(241.5)}{(120)(265.7)}}$$

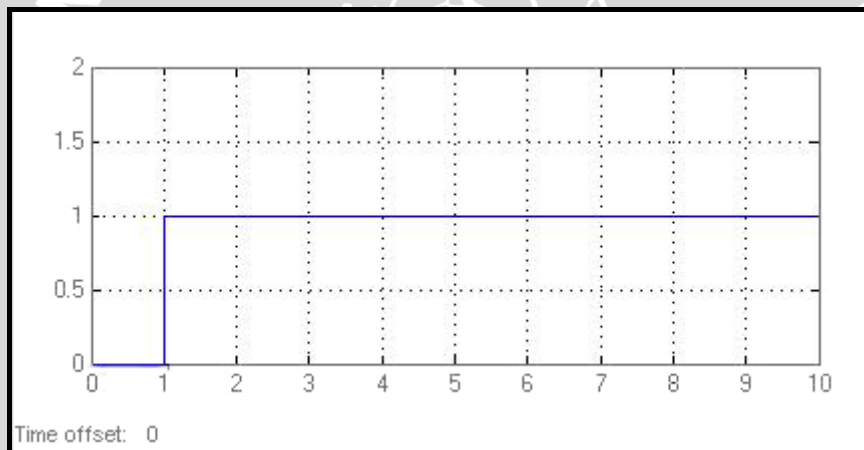
- $$G_{T_i} = \frac{\frac{\hat{F}}{V}\left(s + \frac{UA}{C_M}\right)}{s^2 + \left(\frac{UA}{C_M} + \frac{UA}{V\rho C_p} + \frac{\hat{F}}{V}\right)s + \frac{UA\hat{F}}{VC_M}}$$



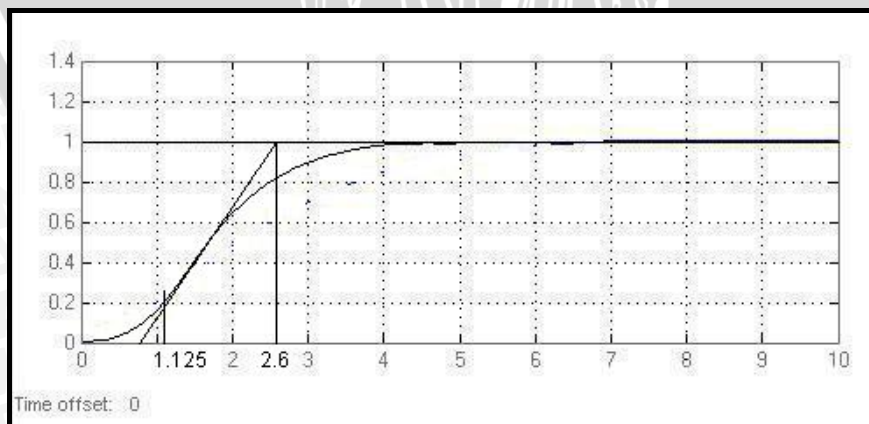
$$\begin{aligned}
 &= \frac{15 \left( s + \frac{(2.1)(241.5)}{265.7} \right)}{s^2 + \left( \frac{(2.1)(241.5)}{265.7} + \frac{(2.1)(241.5)}{(120)(68)(0.8)} + \frac{15}{120} \right) s + \frac{(15)(2.1)(241.5)}{(120)(265.7)}} \\
 &= \frac{0.125s + 0.2386}{s^2 + 2.1114s + 0.2386}
 \end{aligned}$$

#### 4.2 Penalaan Pengendali PID

Metode tuning kurva respon reaksi memerlukan respon sistem lup terbuka terhadap tanggapan step. Respon sistem lup terbukanya dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.4 Input Unit Step



Gambar 4.5 Respon Temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor* Terhadap Input Unit Step

Dari respon sistem pada gambar 4.5 dapat ditentukan nilai parameter untuk nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  berdasarkan aturan *Ziegler-Nichols* pada tabel 2.1 yaitu :

- $K_p = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{2,6 - 1,125}{52,125 - 50} = 0,8333$

$$T_i = 2L = 2(2.125) = 4,25$$

- $K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0.8333}{4.25} = 0,1961$

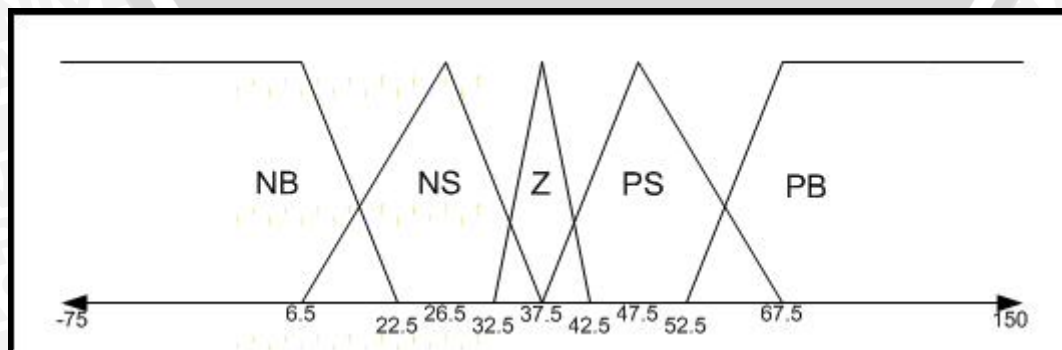
$$T_d = 0,5L = 0,5(2.125) = 1.0625$$

- $K_d = K_p T_d = (0.8333)(1.0625) = 0.8854$

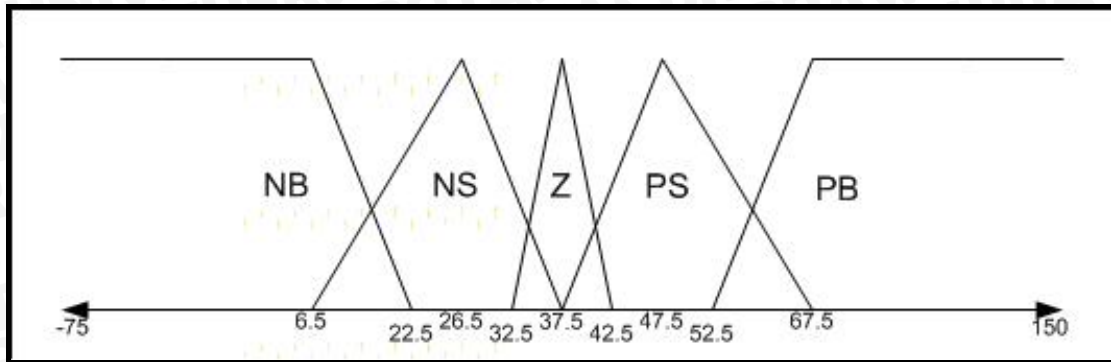
### 4.3 Perancangan pengendali logika *Fuzzy*

Perancangan pengendali logika *fuzzy* dilakukan dengan metode *try and error* dan bentuk himpunan serta aturan-aturan yang digunakan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Felix Pasila, Thiang dan Oscar Finaldi (2000). Pada penelitian tersebut ditetapkan dua masukan yaitu error dan perubahan error ( $\Delta$ error). Fungsi keanggotaan semua himpunan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium yang berjumlah 5 untuk error dan perubahan error ( $\Delta$ error) dan 7 untuk himpunan output.

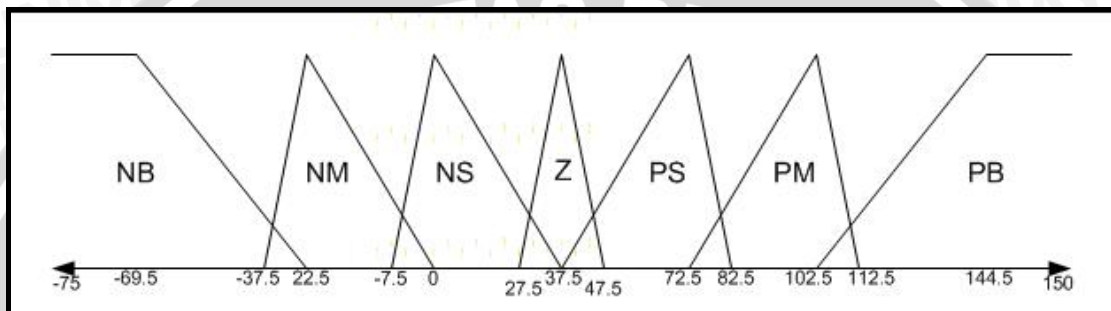
Setelah melalui beberapa uji coba dengan mengingat bahwa output sistem logika *fuzzy* adalah 50% dari output pengendali PID, didapatkan himpunan-himpunan *fuzzy* seperti yang terlihat pada gambar 4.6, 4.7 dan 4.8, sedangkan aturan-aturannya dijabarkan pada tabel 4.1.



Gambar 4.6 Himpunan *Fuzzy* error



Gambar 4.7 Himpunan Fuzzy Perubahan error ( $\Delta$ error)



Gambar 4.8 Himpunan Fuzzy Output

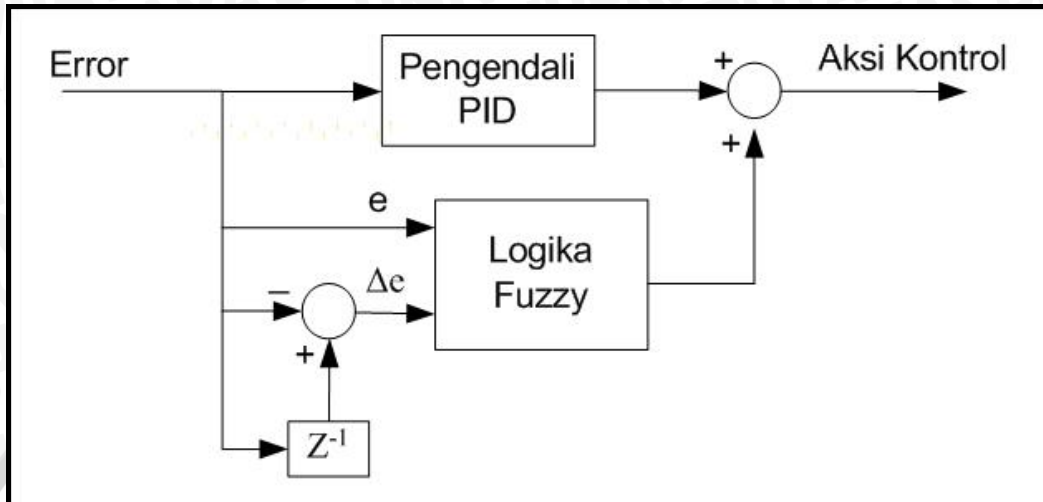
Tabel 4.1 Aturan-aturan Fuzzy yang Digunakan

E dE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NM	NB	NM
NS	NB	NB	NS	Z	NM
Z	NS	Z	Z	Z	PS
PS	PM	Z	PS	PB	PB
PB	PB	PB	PM	PB	PB

#### 4.4 Penggabungan Pengendali PID dengan Pengendali Logika Fuzzy

Penggabungan antara pengendali PID dan sistem logika fuzzy yang sudah dirancang dilakukan dengan menjumlahkan output kedua pengendali tersebut seperti yang terlihat pada gambar 4.9. Dengan penjumlahan ini maka diharapkan output dari sistem logika fuzzy dapat memperbaiki output dari pengendali PID

yaitu dengan memperkecil atau menambah output pengendali PID sesuai dengan kondisi respon sesaat sebelumnya.



Gambar 4.9 Pengendali *Hybrid* PID-Fuzzy



## BAB V

### PENGUJIAN DAN SIMULASI SISTEM

#### 5.1 Pengujian Hasil Perancangan

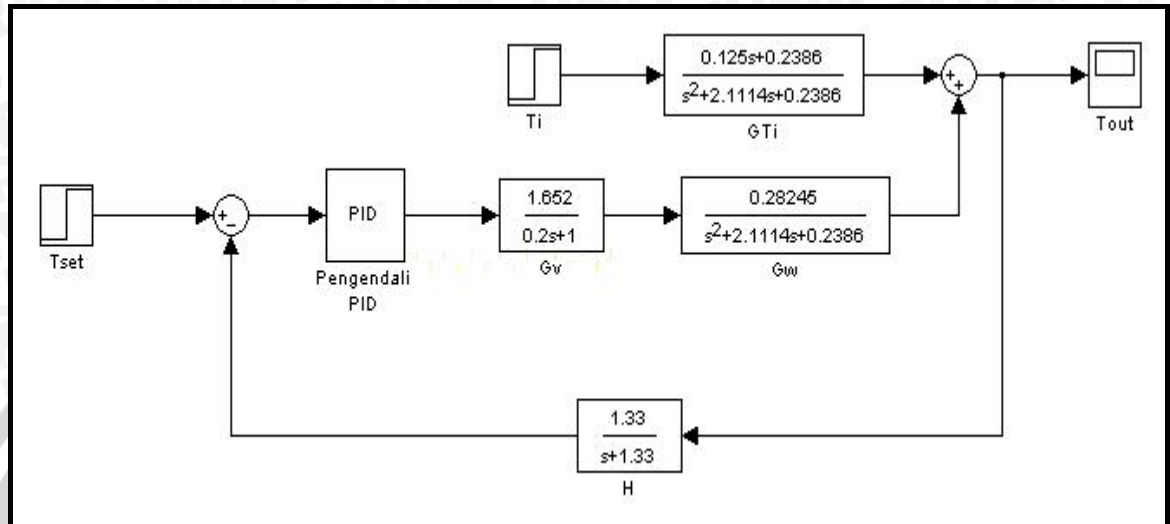
Sistem yang telah dirancang selanjutnya diuji dengan mensimulasikannya menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab Environment*. Hasil dari simulasi berupa respon temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. Secara umum diagram blok simulasi dalam bentuk diagram blok Simulink dapat dilihat pada gambar 5.1 untuk sistem dengan pengendali PID dan gambar 5.2 untuk sistem dengan pengendali *hybrid PID-Fuzzy*.

Pengujian terhadap pengendali dilakukan dengan perubahan temperatur yang diinginkan ( $T_{set}$ ) berupa fungsi *step, recovery time* terhadap gangguan dan juga perubahan pada temperatur fluida masukan ( $T_i$ ). Selain pengendali Hybrid PID-Fuzzy yang sudah dirancang, pengendali PID sebelum digabung dengan sistem logika fuzzy juga disimulasikan dengan kondisi yang sama untuk kemudian dibandingkan performansinya dengan pengendali Hybrid PID-Fuzzy yang sudah dirancang.

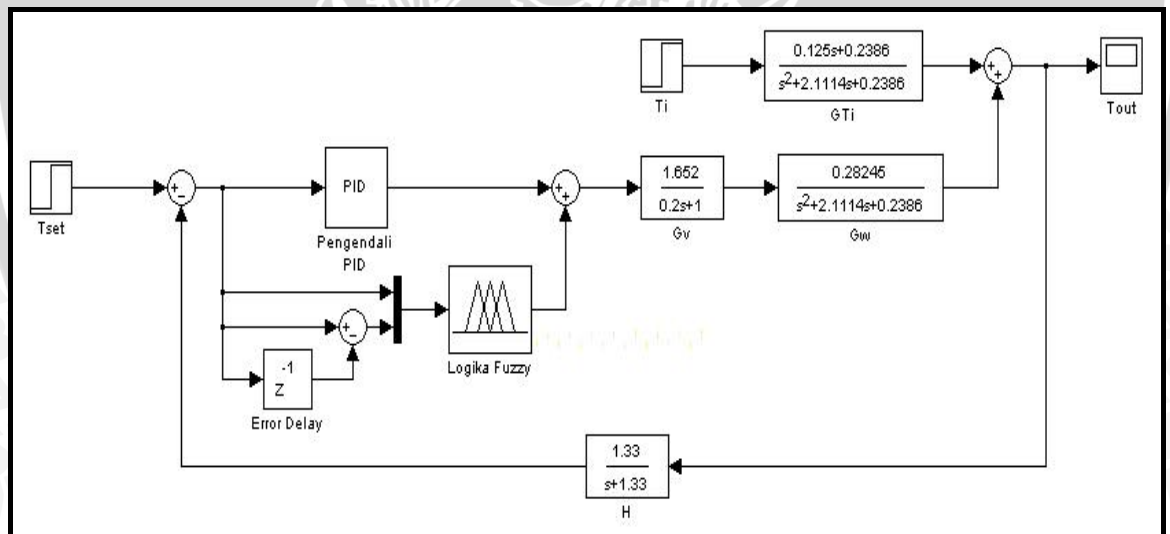
Kriteria pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 100°F dan temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 95°F
- Temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 100°F, temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 95°F dan gangguan pada temperatur fluida masukan sebesar  $\pm 10^\circ\text{F}$
- Temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 100°F dan temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 150°F
- Temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 100°F, temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 150°F dan gangguan pada temperatur fluida masukan sebesar  $\pm 10^\circ\text{F}$
- Temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 200°F dan temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 95°F

- Temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 200°F, temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 95°F dan gangguan pada temperatur fluida masukan sebesar  $\pm 10^\circ\text{F}$

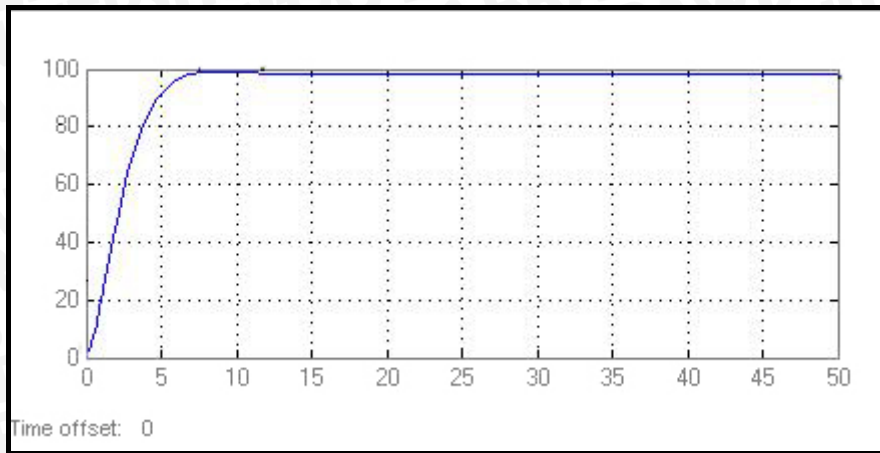


Gambar 5.1 Blok Diagram Pengendalian Temperatur Pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* Dengan Menggunakan Pengendali PID

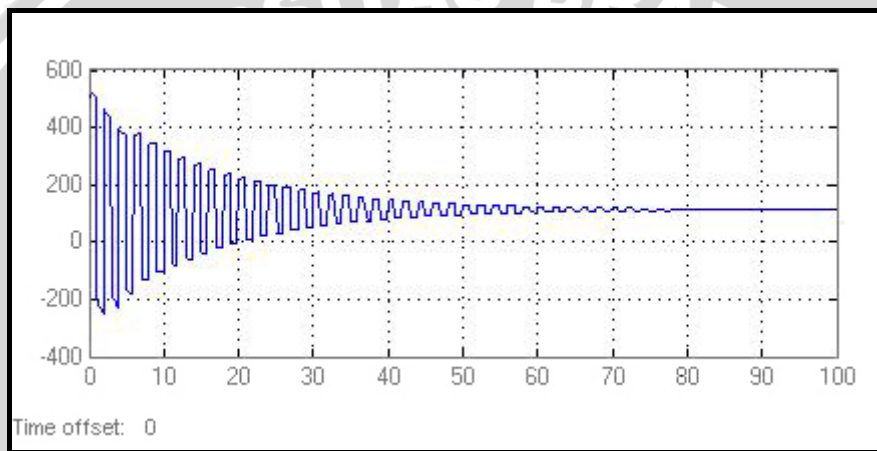


Gambar 5.2 Blok Diagram Pengendalian Temperatur Pada *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dengan Menggunakan Pengendali PID-Fuzzy

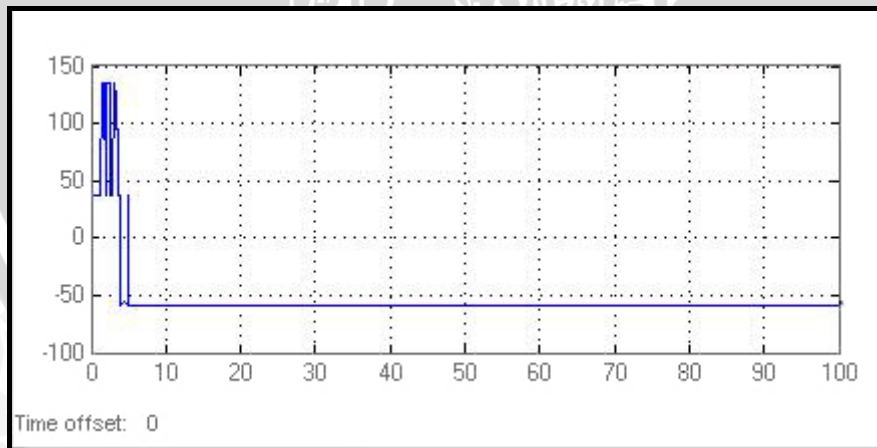
Respon *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* sebelum mendapatkan aksi pengendalian, respon pengendali PID, respon pengendali *Fuzzy*, dan respon pengendali hybrid *PID-Fuzzy* ditunjukkan pada gambar 5.3, 5.4, 5.5 dan 5.6 di bawah ini



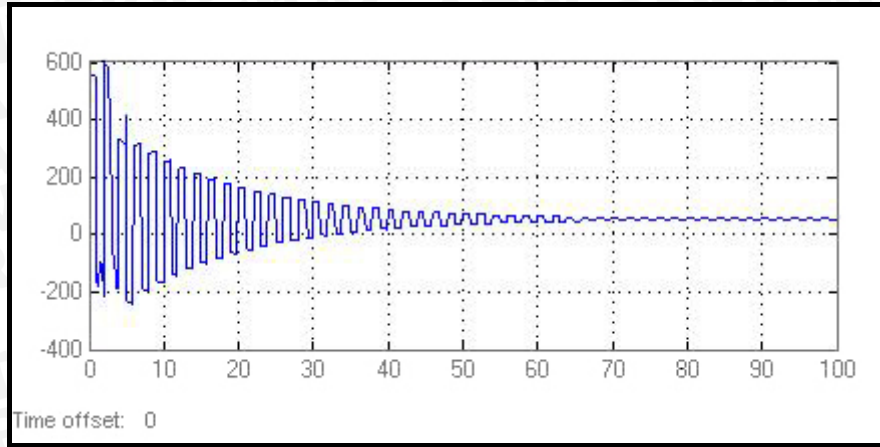
Gambar 5.3 Respon Temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*



Gambar 5.4 Sinyal Pengendali PID

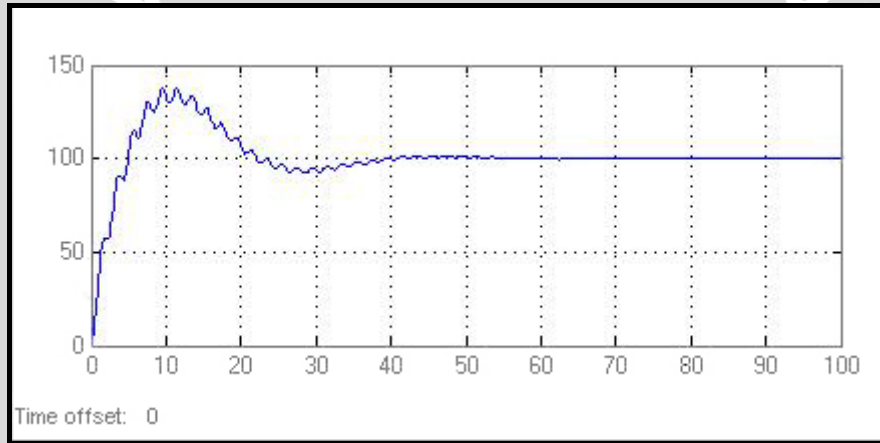


Gambar 5.5 Sinyal Pengendali Fuzzy

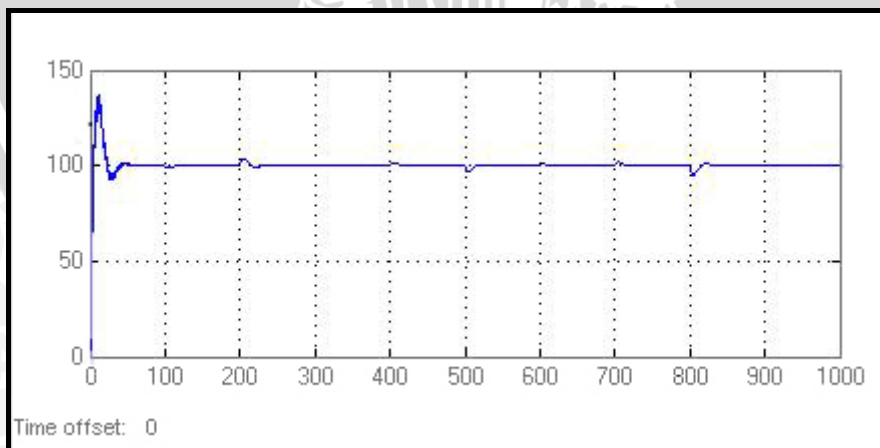


Gambar 5.6 Sinyal Pengendali *Hybrid* PID-Fuzzy

### 5.1.1 Respon Temperatur Dengan Pengendali PID

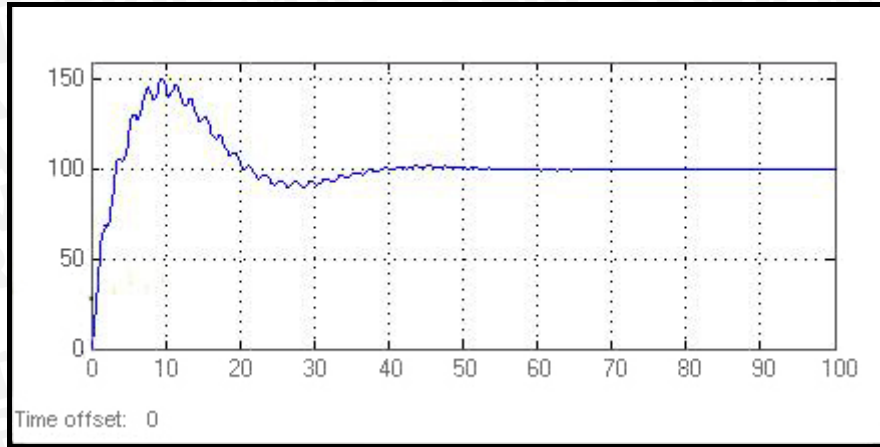


Gambar 5.7 Respon Temperatur Dengan Pengendali PID  
Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$

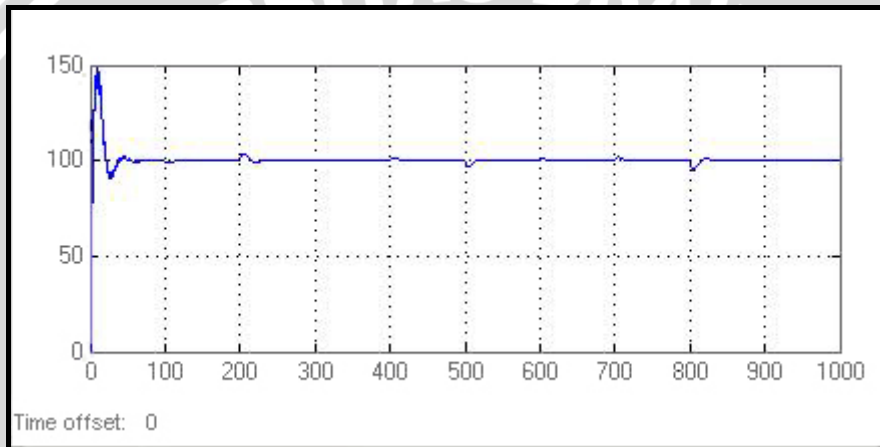


Gambar 5.8 Respon Temperatur Dengan Pengendali PID  
Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$  dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$

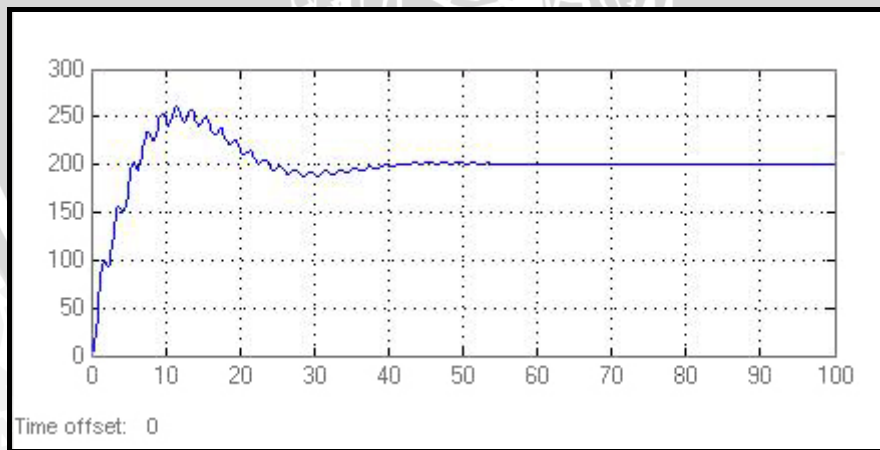




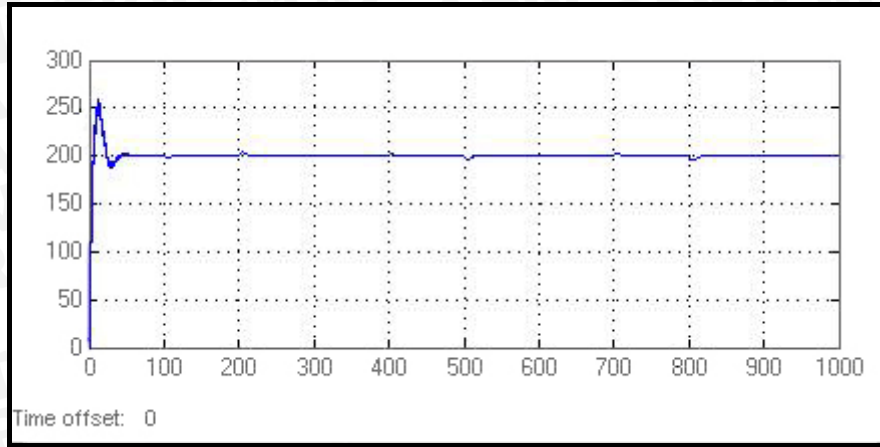
Gambar 5.9 Respon Temperatur Dengan Pengendali PID Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 150^{\circ}\text{F}$



Gambar 5.10 Respon Temperatur Dengan Pengendali PID Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 150^{\circ}\text{F}$  dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$

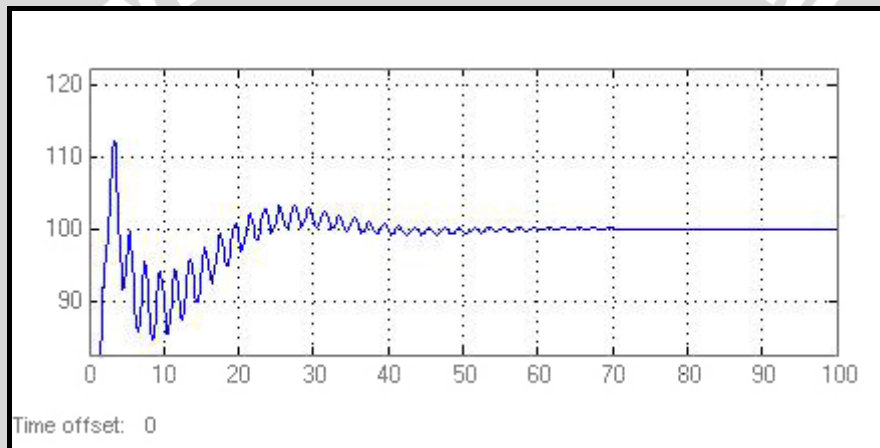


Gambar 5.11 Respon Temperatur Dengan Pengendali PID Pada  $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$

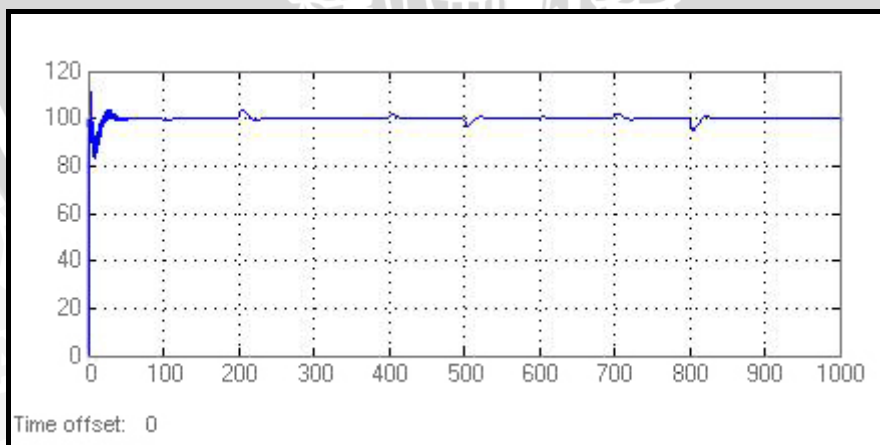


Gambar 5.12 Respon Temperatur Dengan Pengendali PID Pada  $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$  dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$

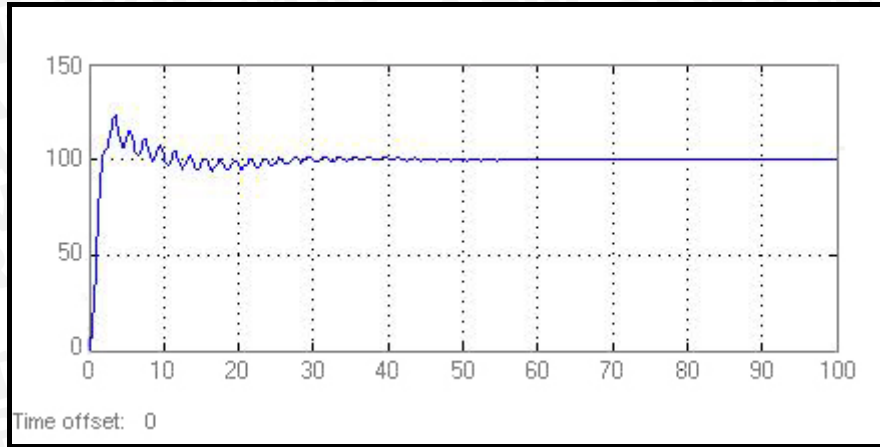
### 5.1.2 Respon Temperatur Dengan Pengendali *Hybrid PID-Fuzzy*



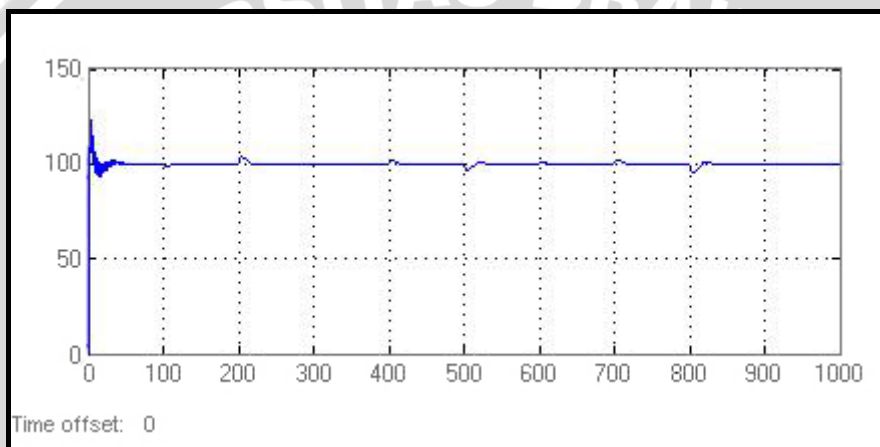
Gambar 5.13 Respon Temperatur Dengan Pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$



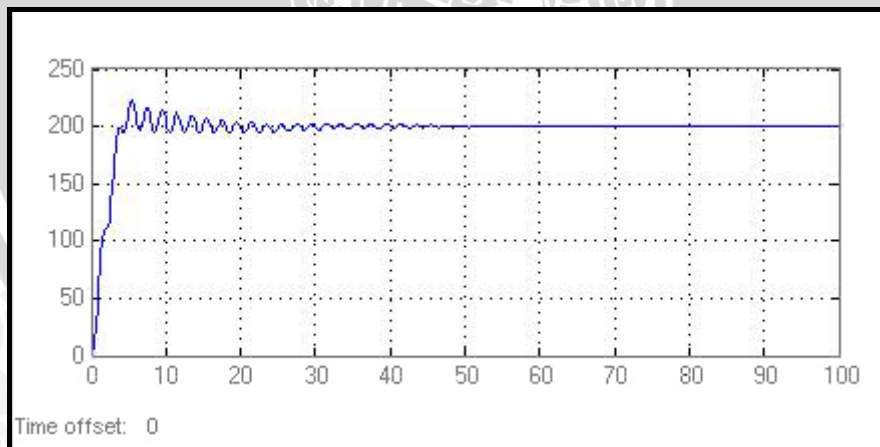
Gambar 5.14 Respon Temperatur Dengan Pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$  dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$



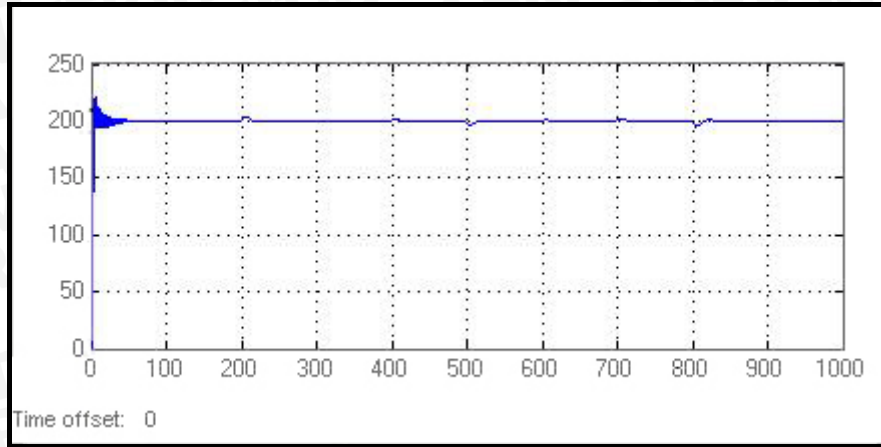
Gambar 5.15 Respon Temperatur Dengan Pengendali Hybrid PID-Fuzzy Pada Tset = 100°F dan Ti = 150°F



Gambar 5.16 Respon Temperatur Dengan Pengendali Hybrid PID-Fuzzy Pada Tset = 100°F, Ti = 150°F dan Gangguan = ±10°F



Gambar 5.17 Respon Temperatur Dengan Pengendali Hybrid PID-Fuzzy Pada Tset = 200°F dan Ti = 95°F



Gambar 5.18 Respon Temperatur Dengan Pengendali Hybrid PID-Fuzzy Pada  $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$  dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$

## 5.2 Analisa Hasil Perancangan

Analisis terhadap hasil pengujian dengan menggunakan pengendali PID-Fuzzy pada pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* meliputi pengukuran *settling time* ( $t_s$ ), *rise time* ( $t_r$ ), *maximum overshoot* ( $M_p$ ) dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) dari respon temperatur yang dihasilkan.

Hasil pengujian tersebut diuraikan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 5.1 Respon Temperatur Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$

	Pengendali PID	Pengendali Hybrid PID-Fuzzy
<i>Settling Time</i> ( $t_s$ )	25,5 detik	20,9 detik
<i>Rise Time</i> ( $t_r$ )	3,15 detik	1,38 detik
<i>Maximum Overshoot</i> ( $M_p$ )	38 %	12.2 %
<i>Error Steady State</i> ( $e_{ss}$ )	0,06%	0,1%

Tabel 5.2 Respon Temperatur Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$  Dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$

	Pengendali PID	Pengendali Hybrid PID-Fuzzy
<i>Error Steady State</i> ( $e_{ss}$ )	0,082%	0,01%
<i>Recovery Time</i>	34,81 detik	34,73 detik

Tabel 5.3 Respon Temperatur Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)  
Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 150^{\circ}\text{F}$

	Pengendali PID	Pengendali Hybrid PID-Fuzzy
<i>Settling Time</i> ( $t_s$ )	27,3 detik	23,09 detik
<i>Rise Time</i> ( $t_r$ )	2,66 detik	1,21 detik
<i>Maximum Overshoot</i> ( $M_p$ )	50,1 %	22,9 %
<i>Error Steady State</i> ( $e_{ss}$ )	0,44%	0,07%

Tabel 5.4 Respon Temperatur Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)  
Pada  $T_{set} = 100^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$  Dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$

	Pengendali PID	Pengendali Hybrid PID-Fuzzy
<i>Error Steady State</i> ( $e_{ss}$ )	0,7%	0,015%
<i>Recovery Time</i>	34,85 detik	32,5 detik

Tabel 5.5 Respon Temperatur Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)  
Pada  $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$  dan  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$

	Pengendali PID	Pengendali Hybrid PID-Fuzzy
<i>Settling Time</i> ( $t_s$ )	26,9 detik	20,92 detik
<i>Rise Time</i> ( $t_r$ )	4,5 detik	2,75 detik
<i>Maximum Overshoot</i> ( $M_p$ )	30 %	22,28 %
<i>Error Steady State</i> ( $e_{ss}$ )	0,29%	0,125%

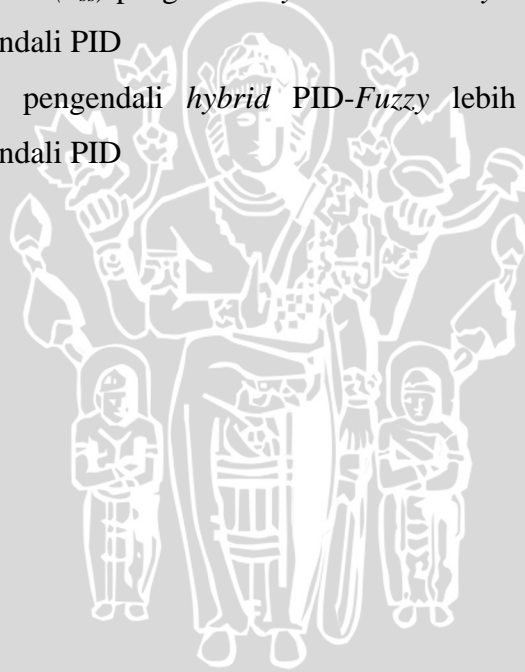
Tabel 5.6 Respon Temperatur Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)  
Pada  $T_{set} = 200^{\circ}\text{F}$ ,  $T_i = 95^{\circ}\text{F}$  Dan Gangguan =  $\pm 10^{\circ}\text{F}$

	Pengendali PID	Pengendali Hybrid PID-Fuzzy
<i>Error Steady State</i> ( $e_{ss}$ )	0,01%	0,0045%
<i>Recovery Time</i>	34,92 detik	32,1 detik

Hasil-hasil analisis dari tabel pengujian di atas adalah :

- Tabel 5.1
  1. *Settling time* ( $t_s$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 4,6 detik daripada pengendali PID
  2. *Rise time* ( $t_r$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 1,77 detik daripada pengendali PID
  3. *Maximum Overshoot* ( $M_p$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 25,8 % daripada pengendali PID
  4. *Error Steady State* ( $e_{ss}$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih besar 0,04% daripada pengendali PID
  
- Tabel 5.2
  1. *Error Steady State* ( $e_{ss}$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 0,072% daripada pengendali PID
  2. *Recovery time* pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 0,08 detik daripada pengendali PID
  
- Tabel 5.3
  1. *Settling time* ( $t_s$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 4,21 detik daripada pengendali PID
  2. *Rise time* ( $t_r$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 1,45 detik daripada pengendali PID
  3. *Maximum Overshoot* ( $M_p$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 27,2 % daripada pengendali PID
  4. *Error Steady State* ( $e_{ss}$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 0,37% daripada pengendali PID
  
- Tabel 5.4
  1. *Error Steady State* ( $e_{ss}$ ) pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 0,685% daripada pengendali PID
  2. *Recovery time* pengendali *hybrid PID-Fuzzy* lebih kecil 2,35 detik daripada pengendali PID

- Tabel 5.5
  1. *Settling time* ( $t_s$ ) pengendali *hybrid* PID-Fuzzy lebih kecil 5,98 detik daripada pengendali PID
  2. *Rise time* ( $t_r$ ) pengendali *hybrid* PID-Fuzzy lebih kecil 1,75 detik daripada pengendali PID
  3. *Maximum Overshoot* ( $M_p$ ) pengendali *hybrid* PID-Fuzzy lebih kecil 7,72 % daripada pengendali PID
  4. *Error Steady State* ( $e_{ss}$ ) pengendali *hybrid* PID-Fuzzy lebih kecil 0,165% daripada pengendali PID
  
- Tabel 5.6
  1. *Error Steady State* ( $e_{ss}$ ) pengendali *hybrid* PID-Fuzzy lebih kecil 0,0055% daripada pengendali PID
  2. *Recovery time* pengendali *hybrid* PID-Fuzzy lebih kecil 2,82 detik daripada pengendali PID



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari simulasi yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai performansi sistem pengendalian temperatur *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* dengan menggunakan pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* dan perbandingannya dengan sistem yang hanya menggunakan pengendali PID. Hal tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pada temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 100°F dan temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 95°F, sistem yang menggunakan pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* mempunyai *settling time* ( $t_s$ ) = 20,9 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 1,38 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 12,2%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,1%. Sedangkan dengan menggunakan pengendali PID, didapat *settling time* ( $t_s$ ) = 25,5 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 3,15 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 38%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,06%.  
Ketika sistem diberikan gangguan  $\pm 10^\circ\text{F}$ , sistem dengan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* mempunyai *recovery time* = 34,73 detik dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,06%. Sistem dengan pengendali PID mempunyai *recovery time* = 34,81 detik dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,082%.
2. Pada temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 100°F dan temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 150°F, sistem yang menggunakan pengendali *Hybrid PID-Fuzzy* mempunyai *settling time* ( $t_s$ ) = 23,09 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 1,21 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 22,9%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,07%. Sedangkan dengan menggunakan pengendali PID, didapat *settling time* ( $t_s$ ) = 27,3 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 2,66 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 50,1%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,44%.  
Ketika sistem diberikan gangguan  $\pm 10^\circ\text{F}$ , sistem dengan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* mempunyai *recovery time* = 32,5 detik dan *error steady*



state ( $e_{ss}$ ) = 0,015°F. Sistem dengan pengendali PID mempunyai *recovery time* = 34,85 detik dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,7%.

3. Pada temperatur fluida yang diinginkan ( $T_{set}$ ) = 200°F dan temperatur fluida masukan ( $T_i$ ) = 95°F, sistem yang menggunakan pengendali Hybrid PID-Fuzzy mempunyai *settling time* ( $t_s$ ) = 20,92 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 2,75 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 22,28%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,125%. Sedangkan dengan menggunakan pengendali PID, didapat *settling time* ( $t_s$ ) = 26,9 detik, *rise time* ( $t_r$ ) = 4,5 detik, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) = 30%, dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,29%.

Ketika sistem diberikan gangguan  $\pm 10^\circ\text{F}$ , sistem dengan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* mempunyai *recovery time* = 32,1 detik dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,0045%. Sistem dengan pengendali PID mempunyai *recovery time* = 34,92 detik dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,01%.

4. Secara keseluruhan, sistem dengan menggunakan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan pengendali PID saja.

## 6.1 Saran

1. Dari hasil simulasi, sistem dengan menggunakan pengendali *hybrid PID-Fuzzy* menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali PID sehingga bisa dilakukan penelitian untuk sistem pengendalian yang lain.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba untuk menggunakan *membership function* dan aturan-aturan logika *fuzzy* yang berbeda atau dengan menggunakan pengendali yang lain.

**DAFTAR PUSTAKA**

Bayu, J.I. 2003. *Perancangan Kontroler Hybrid PI-Fuzzy Pada Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

*Elektro Indonesia*, 1995. *Teknologi Sistem Fuzzy*, *ElektroIndonesia*. (<http://www.elektroindonesia.com>)

Gulley, N. Jang, J-S.R. 1995. *Fuzzy Logic Toolbox For Use with MATLAB*. The MathWorks, Inc

Gunterus, F. 1997. *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.

Kuswadi, S. 2000. *Kendali Cerdas*. EEPIS Press : Surabaya.

Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. Jilid 1 dan 2. Jakarta: Erlangga.

Pasila, F. 2000. *Sistem Kendali Hybrid PID-Logika Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra.

Rizaldi, Y. 2006. *Pengendalian Temperatur Pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Nonlinier Dengan Menggunakan Pengendali Fuzzy*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Sinha, N.K. 1991. *LinierSistems*. John Wiley & Sons, Inc. : New York.

Schmidt, L.D. 1998. *The Engineering of Chemical Reactions*. New York:Oxford University Press.

Willis, M.J. 1999. *Proportional-Integral-Derivative Control*. Dept. Of Chemical and Process Engineering, University of Newcastle. PID.pdf.

Willis, M.J. 2000. *Continuous Stirred Tank Reactor Models*. Dept. Of Chemical and Process Engineering, University of Newcastle. cstr.pdf.

Yan, J. Ryan, M. Power, J. 1994. *Using Fuzzy Logic*. Prentice Hall Int.: Cambridge.

[www.engin.umich.edu/~CRE/asyLearn/bits/cstr/index.htm](http://www.engin.umich.edu/~CRE/asyLearn/bits/cstr/index.htm)