



# DESAIN KENDALI *AUTO TUNING FUZZY PI* UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM *HEAT EXCHANGER*

## TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro



Oleh :

**JUNI ANGGARA**

11455101970

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

**PEKANBARU**

**2022**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# LEMBAR PERSETUJUAN

## DESAIN KENDALI *AUTO TUNING FUZZY PI* UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM *HEAT EXCHANGER*

### TUGAS AKHIR

Oleh:

**JUNI ANGGARA**

11455101970

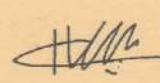
Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Prodi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 19 Januari 2022

Ketua Program Studi

  
Digitally signed by  
Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2022.02.24  
12:21:23 WIB

**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T**  
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing

  
Bersetifikat:  
Halim Mudia  
Tanggal:  
2022.02.24  
11:29:41 WIB

**Halim Mudia, S.T., M.T.**  
NIK. 130517053

# LEMBAR PENGESAHAN

## DESAIN KENDALI *AUTO TUNING FUZZY PI* UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM *HEAT EXCHANGER*

### TUGAS AKHIR

Oleh :

**JUNI ANGGARA**

**11455101970**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 19 Januari 2022

Pekanbaru, 19 Januari 2022

  
Dekan  
**Dr. Hartono, M.Pd**  
NIP. 19640301 199203 1 003

Mengesahkan,


Ketua Program Studi


  
Digitally signed  
by Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2022.02.24  
12:20:42 VMB

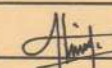
**Dr. Zulfatri Aini, ST., MT**  
NIP. 19721021 200604 2 001

### DEWAN PENGUJI:

**Ketua** : Sutoyo, S.T., M.T  
**Sekretaris** : Halim Mudia, S.T., M.T  
**Penguji I** : Ahmad Faizal, S.T., M.T  
**Penguji II** : Aulia Ullah, S.T., M.Eng

  
Digitally signed by  
Sutoyo  
Tanggal: 2022.02.24  
12:04:30 WIB

  
Bersertifikat: Halim Mudia  
Tanggal: 2022.02.23 16:37:44  
WIB

  
Digitally signed by  
Ahmad Faizal  
Tanggal: 2022.02.23  
22:22:57 WIB



Lampiran Surat :  
Nomor : Nomor 25/2021  
Tanggal : 10 September 2021

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Juni Anggara  
NIM : 11455101970  
Tempat/Tgl. Lahir : Rantau Prapat, 20 Juni 1996  
Fakultas/Pascasarjana : Sains dan Teknologi  
Prodi : Teknik Elektro  
Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\*:

DESAIN KENDALI *AUTO TUNING FUZZY* PI UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR  
PADA SISTEM *HEAT EXCHANGER*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/(Karya Ilmiah lainnya)\* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 24 Februari 2022  
Yang membuat pernyataan



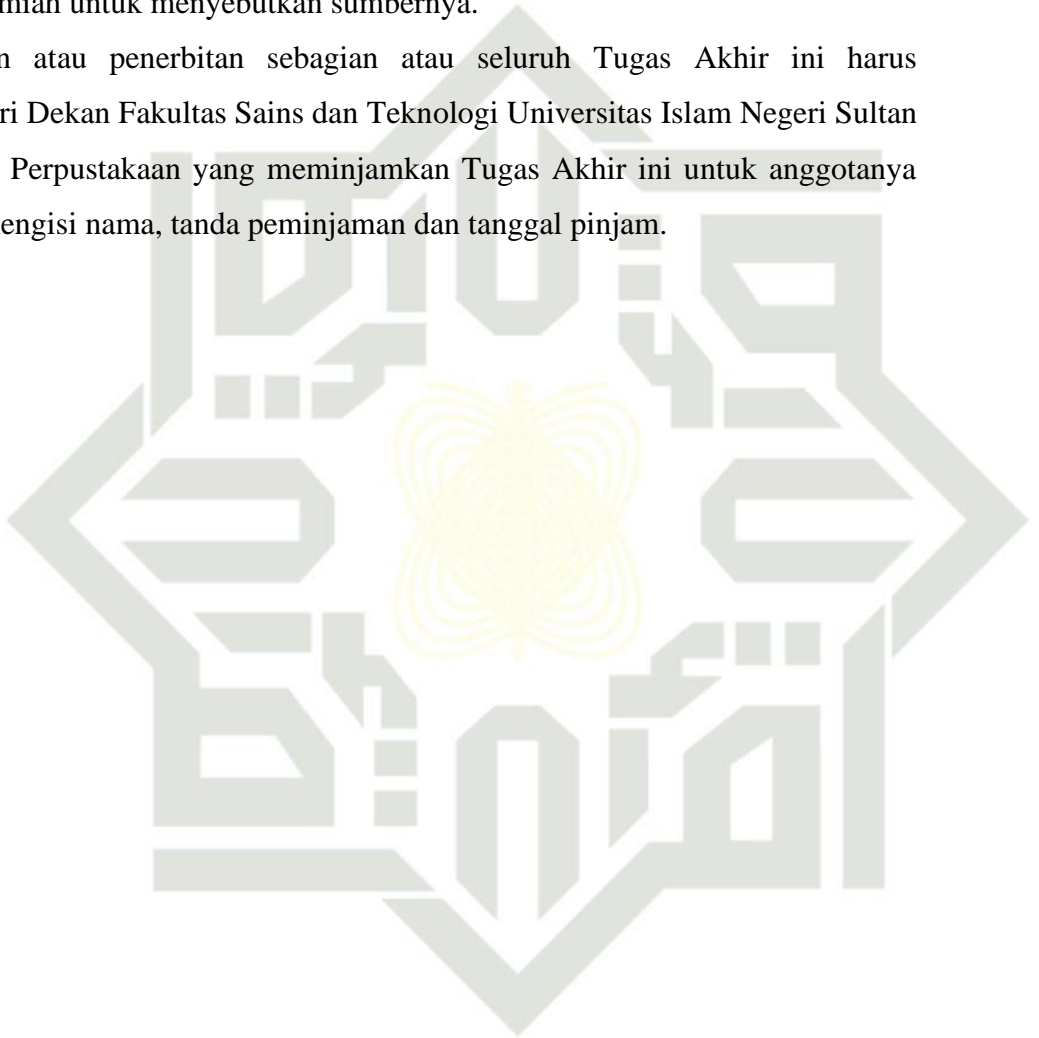
Juni Anggara  
NIM : 11455101970



## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan di perkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.



UIN SUSKA RIAU

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 19 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

**JUNI ANGGARA**  
**NIM. 11455101970**

UIN SUSKA RIAU

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah *subhanahu wata'ala* yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya masih diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. *Shalawat* dan salam tak lupa saya doakan untuk Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah mengajarkan kita sebagai umatnya akan pentingnya menuntut ilmu dan beribadah dalam mencari *ridho* Allah SWT untuk keselamatan dunia dan akhirat.

Saya persembahkan karya ilmiah ini kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta yang sejatinya adalah semangat hidup saya atas semua pengorbanan, doa, dan jerih payahnya agar saya bisa dititik ini sekarang. Kepada dosen pembimbing saya ucapkan terimakasih telah membimbing, membantu, menasehati, dan memberi saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai tepat pada waktunya. Kepada dosen penguji terimakasih juga telah memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur. Rasa terima kasih juga saya ucapkan kepada Rekan-rekan seperjuangan yang telah menemani saya ketika suka maupun duka, memotivasi dan menginspirasi hingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua dengan pahala yang berlipat ganda. *Aamiin*

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# DESAIN KENDALI *AUTO TUNING FUZZY PI* UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM *HEAT EXCHANGER*

**JUNI ANGGARA**

**11455101970**

Tanggal Sidang: 19 Januari 2022

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. H.R. Soebrantas, Km 15, No. 155, Tampan, Pekanbaru

## ABSTRAK

Dalam proses perpindahan panas yang sering terjadi pada industri adalah perubahan temperatur yang tidak terduga. Gangguan tersebut mempengaruhi proses sistem *Heat Exchanger* pada industri yaitu banyaknya energi yang terbuang. Pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* adalah pengendali yang dipilih untuk membantu mengatasi permasalahan yang terjadi pada sistem *Heat Exchanger*, dimana untuk menentukan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  digunakan metode *PI Tuning*. Keberhasilan pengendali ini adalah ketika mampu mengurangi *overshoot* pada sistem *Heat Exchanger*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setelah penambahan pengendali *Auto Tuning Fuzzy* terlihat bahwa pengendali ini mampu mempercepat respon waktu dan mengatasi gangguan, Respon waktu sebelum diberikan pengendali yaitu *rise time* 62,657 detik, *settling time* 84,272 detik dan *delay time* 15,71 detik. Kemudian ketika diberikan pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* dapat mempercepat respon waktu dengan nilai *rise time* 5,202 detik, *settling time* 6,88 detik dan *delay time* 1,23 detik. Kemudian sistem mampu stabil ketika diberi gangguan 5% dari setpoint.

**Kata Kunci :** *Heat Exchanger, Auto Tuning Fuzzy PI, PI Tuning, Propotional Integral (PI).*





1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# **CONTROL DESIGN AUTO TUNING FUZZY PI FOR TEMPERATURE CONTROL IN SYSTEM HEAT EXCHANGER**

**JUNI ANGGARA**

**11455101970**

*Date of Final Exam : January 19<sup>th</sup>, 2020*

*Department of Electrical Engineering*

*Faculty of Science of Technology*

*State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau*

*H.R. Soebrantas St. Km 15, Number. 155, Tampan, Pekanbaru*

## **ABSTRACT**

*In the process of heat transfer that often occurs in the industry is an unexpected change in temperature. The disruption affects the heat exchanger system process in the industry, which is the amount of energy wasted. Fuzzy PI Auto Tuning Controller is the controller selected to help overcome problems that occur in the Heat Exchanger system, where to determine the value of  $K_p$  and  $K_i$  used PI Tuning method. The success of this controller is when it is able to reduce overshoots on the Heat Exchanger system. The results of this study showed that after the addition of fuzzy auto tuning controllers, it was seen that this controller was able to speed up time response and overcome interference, response time before being given the controller is a rise time of 62.657 seconds, settling time of 84.272 seconds and delay time of 15.71 seconds. Then when given the Fuzzy PI Auto Tuning controller can speed up the response time with a rise time value of 5.202 seconds, settling time of 6.88 seconds and delay time of 1.23 seconds. Then the system is able to stabilize when given a 5% interference from the setpoint.*

**Key Word :** Heat Exchanger, Auto Tuning Fuzzy PI, PI Tuning, Propotional Integral (PI).



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut dicontoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Desain Kendali *Auto Tuning Fuzzy PI* Untuk Pengendalian Temperatur Pada Sistem *Heat Exchanger*”.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada di sekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah, Mama, Kakak dan Abang tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Khairunnas, M.Ag selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini S.T., M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Sutoyo, S.T., M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau dan selaku ketua sidang Tugas Akhir saya..
6. Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.


**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

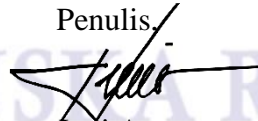
7. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku Dosen Penguji 1 Tugas Akhir
8. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji 2 Tugas Akhir
9. Bapak Dr. Alex Wenda, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan.
10. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Seluruh elemen FKHMEI dan HIMATE yang telah banyak meluangkan waktunya serta memberikan masukan kepada penulis sehingga laporan Tugas Akhir ini bisa selesai.
12. Swastika Pusparani dan Juliesty Huswina Nst selaku adik seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Rekan – Rekan Seperjuangan Angkatan 2014 yang telah membantu dan memberi dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 19 Januari 2022

Penulis,



Juni Anggara

11455101970

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Rumusan Masalah .....	I-2
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-3
1.4 Batasan Masalah.....	I-3
1.5 Manfaat Penelitian .....	I-3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Peneleitian Terkait .....	II-1
2.2 Dasar Teori.....	II-2
2.2.1 Heat Exchanger Shell and Tube .....	II-2
2.2.2 Identifikasi Sistem Proses Temperatur <i>Heat Exchanger</i> .....	II-3
2.3 Sistem Kendali .....	II-5
2.4 Pengendali PI .....	II-6
2.5 Logika Fuzzy.....	II-9
2.5.1 Himpunan Fuzzy .....	II-10
2.5.2 Fungsi Keanggotaan ( <i>Membership Functian</i> ).....	II-12
2.5.3 Tahapan Logika <i>Fuzzy</i> .....	II-15
2.5.4 Fuzzifikasi .....	II-15
2.5.5 Inferensi Fuzzy (Logika Pengambilan Keputusan).....	II-15
2.6 Model <i>Fuzzy</i> Mamdani.....	II-18
2.7 Auto Tuning Fuzzy PI.....	II-19
2.8 Identifikasi Respon Transien.....	II-20
2.9 MATLAB .....	II-22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- HAK Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.1	Proses Alur Penelitian.....	III-1
3.2	Tahapan Penelitian.....	III-3
3.3	Validasi Pemodelan Matematis <i>Heat Exchanger</i> .....	III-4
3.4	Skenario Penelitian.....	III-5
3.5	Perancangan Pengendali.....	III-5
3.5.1	Perancangan Pengendali PI <i>Tuning</i> .....	III-5
3.5.2	Perancangan Pengendali Auto Tuning Fuzzy PI.....	III-7
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA</b>		
4.1	Gambaran Umum Analisa Sistem.....	IV-1
4.2	Hasil dan Analisa Simulasi Pengendali Temperatur pada <i>Heat Exchanger</i> tipe <i>Shell and Tube</i> secara <i>Open Loop</i> .....	IV-1
4.3	Hasil dan Analisa Simulasi Pengendali Temperatur pada <i>Heat Exchanger</i> tipe <i>Shell and Tube</i> dengan Menggunakan Pengendali <i>Tuning PI</i> .....	IV-4
4.4	Hasil dan Analisa Simulasi Pengendali Temperatur pada <i>Heat Exchanger</i> tipe <i>Shell and Tube</i> dengan Menggunakan Pengendali <i>Auto Tuning Fuzzy PI</i> .....	IV-6
4.5	Hasil dan Analisa Simulasi Pengendali Temperatur pada <i>Heat Exchanger</i> tipe <i>Shell and Tube</i> dengan Menggunakan Pengendali <i>Auto Tuning Fuzzy PI</i> dengan Perubahan <i>Setpoint</i> .....	IV-8
4.6	Analisa Perbandingan Respon Sistem Secara <i>Open Loop</i> , <i>PI Tuning</i> dan <i>Auto Tuning Fuzzy</i> .....	IV-15
<b>BAB V KESIMPULAN</b>		
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-1
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gambar <i>Heat exchanger</i> .....	II-3
Gambar 2.2 Data Pengukuran Sistem.....	II-3
Gambar 2.3 Parameter Sistem .....	II-4
Gambar 2.4 Diagram Blok Pengendali PI .....	II-7
Gambar 2.5 Blok Diagram Kontrol Proporsional.....	II-7
Gambar 2.6 Blok Diagram Kontrol Integral.....	II-8
Gambar 2.7 Istilah-Istilah Dalam Himpunan Fuzzy.....	II-11
Gambar 2.8 Representase Linear Naik .....	II-12
Gambar 2.9 Representasi Linear Turun.....	II-13
Gambar 2.10 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga .....	II-13
Gambar 2.11 Representase Trapezium .....	II-14
Gambar 2.12 Diagram Alur Sistem Logika Fuzzy .....	II-15
Gambar 2.13 Respon Grafik Pada Bidang Fase .....	II-16
Gambar 2.14 Diagram Pengendali <i>Auto Tunning Fuzzy</i> .....	II-20
Gambar 2.15 Respon Sistem Orde Satu .....	II-21
Gambar 2.16 Opening R2015b.....	II-23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	III-2
Gambar 3.2 Diagram Simulink <i>Open Loop Heat Exchanger</i> .....	III-4
Gambar 3.3 Respon <i>Open Loop</i> Suhu <i>Heat Exchanger</i> .....	III-5
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Simulink</i> PI <i>Tuning</i> .....	III-6
Gambar 3.5 Tampilan Blok PI <i>Controller</i> .....	III-6
Gambar 3.6 Tampilan Grafik PI <i>Tuning</i> .....	III-7
Gambar 3.7 Rangkaian <i>Simulink</i> Penentuan Nilai <i>Error</i> dan <i>Delta Error</i> .....	III-8
Gambar 3.8 Perancangan Logika <i>Fuzzy</i> dengan 2 <i>Input</i> dan 2 <i>Output</i> .....	III-8
Gambar 3.9 Tiga Anggota Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	III-9
Gambar 3.10 Rangkaian <i>Simulink</i> Sistem Pengendali <i>Auto Tuning Fuzzy</i> PI.....	III-10
Gambar 4.1 Blok Simulink <i>Heat Exchanger</i> Secara <i>Open Loop</i> .....	IV-2
Gambar 4.2 Hasil Respon Simulasi Sistem Secara <i>Open Loop</i> .....	IV-2
Gambar 4.3 Hasil Respon <i>Tuning</i> PI pada <i>Heat Exchanger</i> .....	IV-5
Gambar 4.4 Hasil Respon <i>Auto Tuning Fuzzy</i> PI pada <i>Heat Exchanger</i> .....	IV-7

Gambar 4.5 Hasil Respon *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan perubahan *set point* 250°C.....IV-9



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tanggapan Sistem Kontrol PI terhadap Perubahan Parameter[14] .....	II-6
Tabel 2.2 Nilai Derajat Keanggotaan Himpunan $X$ .....	II-11
Tabel 2.3 Basis Aturan <i>Fuzzy</i> dengan Tiga Nilai <i>Linguistik</i> (N, Z, P)[38] .....	II-16
Tabel 2.4 Rangkuman Kriteria Metode <i>Defuzzifikasi</i> yang Sering Digunakan[38] .....	II-18
Tabel 3.1 <i>Rule Base Fuzzy</i> .....	III-10
Tabel 4.1 Respons <i>Open Loop set point 500°C</i> .....	IV-3
Tabel 4.2 Penentuan nilai $K_p$ dan $K_i$ Menggunakan Metode <i>Heuristik</i> .....	IV-4
Tabel 4.3 Respons <i>Tuning PI set point 500°C</i> .....	IV-6
Tabel 4.4 Respons <i>Auto Tuning PI set point 500°C</i> .....	IV-8
Tabel 4.5 Respons <i>Auto Tuning PI</i> dengan perubahan <i>set point 250°C</i> .....	IV-11

© Hak cipta dimiliki oleh Niko UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan serta teknologi saat ini sangat beragam dan pesat, khususnya dibidang industri. Perkembangan teknologi ini menjadi pemicu untuk kebanyakan industri ingin mempermudah proses pekerjaannya, peran pengendali sangat penting di dalam perindustrian. Untuk mencapai hasil yang diinginkan pada proses dalam operasi industri sangat diperlukan sebuah pengendali yang tepat. Dari keseluruhan proses dalam industri dibutuhkan sistem kendali untuk menjalankan prosesnya. Maka dari itu para perancang sistem kendali harus mampu merancang pengendali yang tepat untuk permasalahan yang ada dalam industri, dikarenakan akan memberikan efek yang berbeda dalam setiap sistem [1] Sistem kendali telah berperan penting dalam pengoperasian industri, seperti mengendalikan tekanan, *level*, suhu, laju aliran, dan sebagainya [2].

Salah satu proses perpindahan panas yang sering dijumpai dibidang industri adalah *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan suatu alat untuk proses perpindahan panas, yang berfungsi untuk memindahkan panas antara dua fluida atau lebih yang berbeda temperatur dan dipisahkan oleh suatu sekat pemisah biasanya oleh pipa silindris. Pada sistem *heat exchanger* perubahan temperature yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan adalah masalah yang paling sering terjadi ketika melakukan perpindahan panas yang tidak terduga, adapun permasalahan lainnya yaitu terjadi perubahan pada variable-variabel internal sistem sehingga menyebabkan respon keluaran terdeviasi dari nilai yang diinginkan. proses perpindahan panas pada *heat exchanger* dapat diatur agar memperoleh temperatur fluida sesuai kriteria yang diinginkan agar tidak terdapat energi yang terbuang, namun untuk mendapat kriteria tersebut masih terdapat *delay time* dalam proses pengukuran sinyal respon dari *heat exchanger*, sehingga pengendalian secara otomatis sangat diperlukan [3].

Adapun salah satu jenis dari *heat exchanger* yaitu jenis *Shell and Tube*. Jenis *shell and tube* terdiri dari dua fluida, fluida satu mengalir dalam pipa-pipa kecil (*tube*), dan fluida yang lain mengalir melalui selongsong (*shell*). Perpindahan panas dapat terjadi diantara kedua fluida dimana panas akan mengalir dari fluida yang bersuhu tinggi ke fluida bersuhu lebih rendah. Pada umumnya aliran fluida dalam *shell and tube heat exchanger* adalah paralel atau berlawanan. Dari proses perpindahan panas tersebut terjadi keterlambatan terhadap respon plant, sehingga *error* yang cukup besar terjadi pada saat awal sistem dijalankan [35]

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Salah satu sistem pengendalian secara otomatis yang banyak digunakan dalam dunia industri adalah sistem *Auto Tuning Fuzzy*. Kendali *Fuzzy* memiliki sifat sangat sensitif terhadap gangguan sehingga dapat mempengaruhi stabilitas pada pengendalian[8], untuk memenuhi kekurangan kendali *Fuzzy* sangat cocok untuk disandingkan dengan kendali PI karena pengendali PI bersifat lebih kokoh terhadap gangguan dibandingkan pengendali *Fuzzy* [34].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan pada *heat exchanger* antara lain penelitian tentang tuning parameter PID dengan metode ciancone dengan parameter PID,  $K_c = 0.9$ ,  $1/T_i = 1/28.08$  dan  $T_d = 2.16$ . Dengan parameter tersebut dapat mencapai *setpoint*, namun masih terdapat *overshoot* [3]. Penelitian selanjutnya membahas tentang pengendali *feed forward* dan PID mendapatkan hasil stabil yang lambat yaitu dengan *settling time* yang cukup besar dari waktu total simulasi 100 detik dan masih terdapat *overshoot* cukup besar [4]. Dari kedua penelitian ini ditunjukkan bahwa *overshoot* masih terjadi. *Overshoot* merupakan tanda dari ketidakstabilan sistem, Idealnya *overshoot* haruslah bernilai minimum. Untuk itu, diperlukan pengendali yang bersifat kokoh dan memiliki kestabilan yang baik.

Adapun kontrol dua suku *fuzzy* memiliki dua jenis yang berbeda, pertama adalah kontrol tipe *Fuzzy Propotional Derivative* (PD) yang menghasilkan output kontrol dari kesalahan dan perubahan kesalahan. Kemudian yang selanjutnya adalah kontrol tipe *Fuzzy Propotional Integral* (PI) yang mampu mempercepat respon keluaran[39].

Berdasarkan studi literatur yang telah dibaca, pengendali *Auto-Tuning Fuzzy-PI* cukup baik dalam memperbaiki respons transien dan mampu menetapkan nilai PI secara Online pada sistem. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan tugas akhir dengan judul **“DESAIN KENDALI AUTO TUNING FUZZY PI UNTUK PENGENDALIAN TEMPERATUR PADA SISTEM HEAT EXCHANGER”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh perancangan kendali *Auto Tuning Fuzzy* PI untuk pengendalian temperatur pada *Heat Exchanger* agar mampu mempercepat respon waktu?
2. Bagaimana pengaruh perancangan kendali *Auto Tuning Fuzzy* PI untuk pengendalian temperatur pada *Heat Exchanger* agar mampu mengatasi gangguan?

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**1.3** **Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Melihat pengaruh dari hasil pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* untuk pengendalian temperatur agar respon output plant sama dengan setpoint yang diberikan.
2. Melihat pengaruh dari hasil pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* untuk pengendalian temperatur agar mampu mengatasi gangguan.

**Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Penurunan model matematis berdasarkan penelitian Murie Dwiyaniti[3].
2. *Set point* yang digunakan pada penelitian ini merujuk pada referensi terkait pengendalian *Heat Exchanger*.
3. Parameter yang dikendalikan adalah suhu pada *Heat Exchanger* tipe *Shell and Tube*.
4. Sistem yang dibuat berupa simulasi menggunakan software MATLAB R2015b
5. Tidak ada pembahasan tentang *Hardware*.

**1.5** **Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Menghasilkan sebuah rancangan sistem kendali yang menggunakan pengendali *Fuzzy PI* untuk mengatur temperatur pada sistem *Heat Exchanger*
2. Dapat dijadikan referensi dalam mengaplikasikan sistem kendali pada proses industri.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Pada penelitian tentang *Heat Exchanger* tipe *Shell and Tube* digunakan aplikasi untuk mekanis tinggi. Tujuan pemodelan ini adalah untuk melakukan studi simulasi dan memahami perilaku proses yang membantu dalam pengendalian dan optimasi. Pengontrolan PI lebih lambat dan periode respon id, 50% lebih lama dibandingkan dengan kontrol proporsional lainnya, namun kontrol PI lebih efektif dan mudah diimplementasikan untuk mengontrol proses karena control PI cenderung merespon lebih cepat[5]. Penelitian ini ada kaitannya dengan penulis yaitu menggunakan pengontrolan PI.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan pada *heat exchanger* antara lain penelitian tentang tuning parameter PID dengan metode ciancone dengan parameter PID,  $K_c = 0.9$ ,  $1/T_i = 1/28.08$  dan  $T_d = 2.16$ . Dengan parameter tersebut dapat mencapai *setpoint*, namun masih terdapat *overshoot* [3]. Penelitian selanjutnya membahas tentang pengendali *feed forward* dan PID mendapatkan hasil stabil yang lambat yaitu dengan *settling time* yang cukup besar dari waktu total simulasi 100 detik dan masih terdapat *overshoot* cukup besar [4]. Dari kedua penelitian ini ditunjukkan bahwa *overshoot* masih terjadi. *Overshoot* merupakan tanda dari ketidakstabilan sistem. Karena *overshoot* adalah lonjakan yang terjadi ketika sistem diberikan *input*. Idealnya *overshoot* haruslah bernilai minimum. Untuk itu, diperlukan pengendali yang bersifat kokoh dan memiliki kestabilan yang baik. Penelitian ini berkaitan dengan penelitian penulis yaitu untuk mengurangi nilai *overshoot* pada *heat exchanger*.

Pada penelitian berikutnya tentang pengendali PI-fuzzy pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* antara lain pada sistem pengaturan tersebut dapat bekerja dengan baik. Berdasarkan penelitian tersebut dapat dijelaskan, analisa pada temperatur  $85^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ ) sebesar  $212\text{s}$  dengan *set point* tetap. Kemudian pada *set point* yang bervariasi respon plant dapat mengikuti *set point* dengan baik pada waktu  $61\text{s}$  ketika terjadi perubahan *set poin* dan pada saat itu memerlukan waktu  $151\text{s}$  untuk Kembali pada keadaan *steady state*. Masih pada penelitian ini dengan kontroler PI-fuzzy pada *set point* bervariasi dengan nilai *random* antara  $68^{\circ}\text{C}$  -  $102^{\circ}\text{C}$ , didapatkan hasil respon plant dapat mengikuti *set point* karena tidak ada gangguan atau beban pada plant sehingga kontroler masih dapat bekerja dengan baik, namun masih terdapat *overshoot* mencapai  $24\text{s}$ , *settling time* ( $t_s$ )  $\pm 2\%$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

248s, *delay time* sebesar 21s dan *rise time* (5%-95%) yaitu 22s dan ketika terjadi perubahan pada *set point* antara 75.44°C – 69.59°C memerlukan waktu 61s untuk mencapai *settling time*. Menunjukkan bahwa kontroler berjalan cukup cepat ketika terjadi perubahan *set point* [36]. Penelitian ini ada kaitannya dengan penulis yang dimana meminimalisir *overshoot* untuk pengendali PI-fuzzy pada *heat exchanger*.

Pada penelitian lainnya dengan pengendali *fuzzy* PID untuk *Heat Exchanger* menghasilkan biaya input energi yang lebih rendah dan penyelesaian yang lebih singkat untuk output pada sistem. Pengontrol harus menghasilkan *overshoot* yang lebih kecil, dan dibawah dari *overshoot*, sebuah pilihan yang baik adalah penggunaan logika *Fuzzy* untuk menentukan koefisien gain dan faktor penskalaan untuk pra- dan pasca- proses variabel input/output. Fungsi keanggotan tipe *gaussian* merupakan pilihan yang tepat dibandingkan dengan tipe segitiga dan tipe trapesium. Untuk implementasi kontroler *fuzzy* dapat digunakan kontroler digital, karena *Fuzzy* PID mempertahankan nilai titik yang tepat[6].

Berdasarkan beberapa penelitian inilah penulis ingin menggabungkan dua pengendali *Fuzzy* dan PI pada sistem *Heat Exchanger*.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Heat Exchanger Shell and Tube

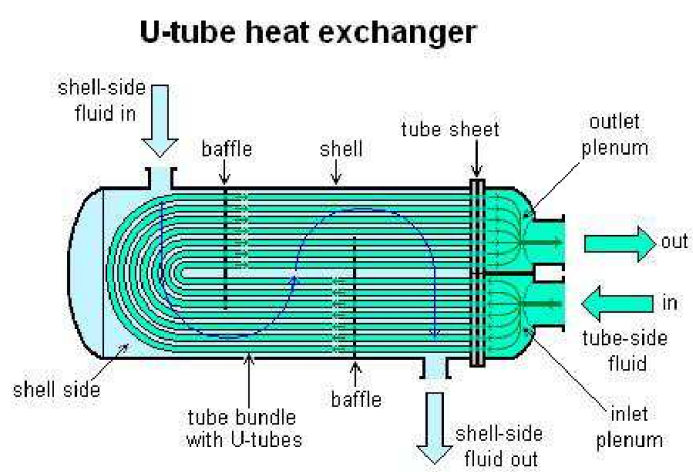
*Heat Exchanger* merupakan alat perpindahan panas yang digunakan sebagai media perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur dari dua jenis fluida yang saling mengalir namun tidak tercampur [2]. Ketika melakukan perpindahan panas, pada sistem ini sering menimbulkan masalah seperti perubahan temperature. Perubahan temperature ini disebabkan karena adanya variabel-variabel dari parameter internal sistem yang berubah didalam *heat exchanger*, sehingga menyebabkan respon keluaran terdeviasi dari nilai yang diinginkan [3].

*Heat Exchanger Shell and tube* merupakan salah satu jenis *Heat Exchanger* di dunia industri. Jenis ini terdiri dari *shell* (cangkang) silindris pada bagian luar dan *tube* (pipa) pada bagian dalam. Pada jenis ini memiliki temperatur yang berbeda pada kedua bagian sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran dalam dan luar *tube* yang disebut juga *tube side*, dan bagian luar disebut juga *shell side* [37].

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

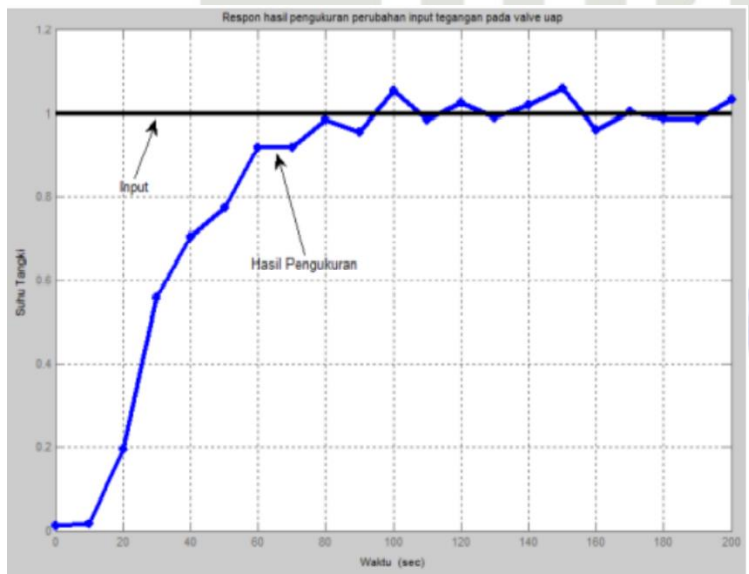
Pada *Heat Exchanger* jenis *shell and tube* ini memiliki proses pengaliran fluida yang terjadi secara terpisah, dimana fluida mengalir didalam *tube* dan didalam *shell*. Pada saat proses perpindahan fluida, pada bagian pipa (*tube*) ditahan penyekat (*baffle*), dimana harus ada ruang bebas antara *shell* dan *baffle*. Ruang bebas tersebut dapat berpengaruh pada aliran fluida diluar *tube* [37].



Gambar 2. 1 Gambar *Heat exchanger*

**2.2.2 Identifikasi Sistem Proses Temperatur *Heat Exchanger***

Identifikasi adalah menggambarkan perilaku sistem atau mencari pemodelan matematis pada sistem. Pada penelitian Murie Dwiyaniti, sistem diawali dengan identifikasi secara *open loop*, lalu *input step* berupa tegangan (*v*) diberikan ke *valve* dan mendapatkan keluaran berupa temperatur. Hasil system tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2:

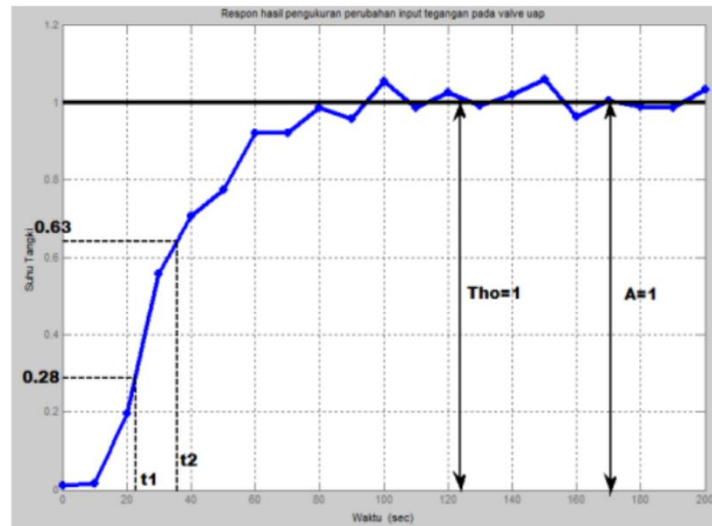


Gambar 2. 2 Data Pengukuran Sistem[3]

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dari data yang ada pada Gambar 2.2, maka dapat dilakukan pemodelan matematis sistem dalam bentuk fungsi alih dengan orde satu. Fungsi alih tersebut dapat digunakan sebagai perancangan sistem kendali dan analisa dinamik, berikut persamaan fungsi alih dari sistem tersebut:



Gambar 2. 3 Parameter Sistem[3]

Pada gambar 2.3 diatas dapat diketahui langkah untuk menentukan parameter :

1. Melakukan pendekatan orde satu dengan data yang ada pada Gambar 2.3 diatas dengan pemodelan grafik ciacone untuk menghitung penguatan *propotional* ( $K_p$ ) yang merupakan nilai keluaran ( $\Delta$ ) dibagi dengan nilai masukan ( $\delta$ )
2. Menentukan konstanta waktu ( $\tau$ ) dengan mencari waktu yang diperlukan untuk mencapai 28% dari keadaan mapan ( $t_{28\%}$ ) dan waktu yang diperlukan untuk mencapai 63% ( $t_{63\%}$ )

$$A = \Delta = 1 \quad (2.1)$$

$$Tho = \delta = 1 \quad (2.2)$$

$$Kp = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{1}{1} = 1 \quad (2.3)$$

$$\Delta_{28\%} = 1 \times 28\% = 0,28 \quad (2.4)$$

$$\Delta_{63\%} = 1 \times 63\% = 0,63 \quad (2.5)$$

$$t_{28\%} = t_1 = 21,8 \text{ detik} \quad (2.6)$$

$$t_{63\%} = t_2 = 36 \text{ detik} \quad (2.7)$$

$$\tau = 1,5(t_{63\%} - t_{28\%}) = 1,5(36 - 21,8) = 21,3 \quad (2.8)$$

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Mencari waktu tunda ( $\theta$ ) dengan persamaan:

$$\theta = t_{63\%} - \tau = 36 - 21,3 = 14,70 \tag{2.9}$$

Dari identifikasi yang telah dilakukan diatas, merujuk pada penelitian Murie Dwiyanti didapatkanlah fungsi alih sistem sebagai berikut:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_{pe} - \theta s}{\tau s + 1} = \frac{1e^{-14.7s}}{21.3 + 1} \tag{2.10}$$

Dimana:

- $\Delta$  = Nilai Keluaran
- $\delta$  = Nilai Masukan
- $\tau$  = Kontanta Waktu
- $\theta$  = Waktu Tunda
- $t$  = Waktu

### 2.3 Sistem Kendali

Sistem kendali merupakan sekumpulan/serangkaian komponen yang bekerjasama dalam mengendalikan/mengontrol satu atau lebih variabel untuk mendapatkan harga/nilai yang diinginkan. Selain itu sistem kendali juga dapat berfungsi sebagai pengontrol urutan kejadian agar setiap proses dapat terjadi secara berurutan sesuai urutan yang dikehendaki dan juga sebagai pengambil keputusan apakah suatu aksi harus di lakukan atau tidak[9].

Bagi pelaku industri berskala besar, sistem kendali memegang peranan penting guna menunjang proses produksi karena dapat memberikan kemudahan dan manfaat yang diantaranya mempertinggi laju produksi, menurunkan biaya produksi, menggantikan pekerjaan-pekerjaan monoton yang biasanya dilakukan oleh manusia dan lain sebagainya [11].

Berikut istilah dasar dalam sitem kendali :

- 1 Variabel terkendali (*controlled variable*) dan variabel termanipulasi (*manipulated variable*). variabel terkendali ialah banyaknya jumlah atau juga syarat untuk mengukur dan yang dikontrol. Ada juga variabel yang termanipulasi adalah bentuk dari kuantitas atau kondisi yang dirubah sang pengontrol yang dapat mempengaruhi satuan variable yang terkontrol ialah output dari sistem.
- 2 *Plant* merupakan sebuah alat-alat dan instrument yang difungsikan menjadi bagian asal sistem yang diatur. Contoh *plant* yaitu sebuah peralatan penggerak, tempat pembakaran, reaktor kimia, pesawat antariksa dan sebagainya



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Proses. Tidak selaras dengan *plant*, sebuah proses ialah mekanisme dan prosedur yang dikendalikan seperti *plant*. Kendali sistem pengelompokan larutan kimia, distilasi ialah sistem kendali yang bergerak oleh sebuah proses. Sistem. Seluruh komponen yang bekerja sama dan mempunyai output yang khusus, seperti penghematan, otomasi, juga optimasi pembentuk sebuah sistem Gangguan (*disturbance*). Pada sistem riil, gangguan hampir selalu dijumpai dan seringkali mengganggu keseimbangan dan proses dari sistem. Gangguan ini dipengaruhi oleh sistem itu sendiri (*internal disturbance*) dan gangguan luar sistem (*eksternal disturbance*)

Kendali Umpan Balik (*feedback control*). Adanya masalah, kelainan antara output dengan *input* acuan susah ditebak mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak tercapai. Untuk itu, diperlukan umpan balik keluaran untuk dibandingkan dengan masukan acuan sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan, diminimalkan secara otomatis [12].

## 2.4 Pengendali PI

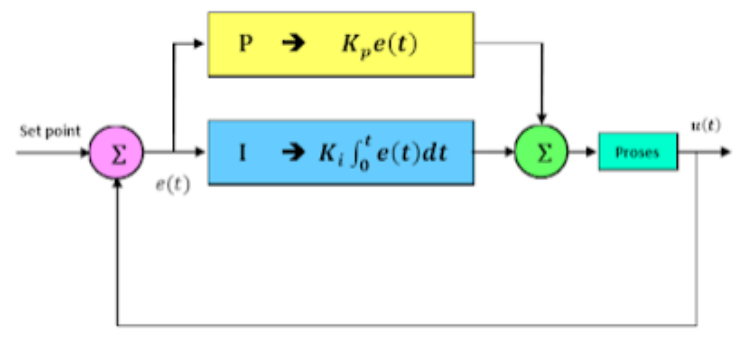
Teknik kendali PI adalah pengendali yang merupakan gabungan antara aksi kendali proporsional ditambah aksi kendali integral [13]. Kombinasi kedua jenis aksi kendali ini bertujuan untuk saling melengkapi kekurangan-kekurangan dari masing-masing aksi kendali. Sistem kendali PI dapat digunakan untuk menentukan presisi pada suatu sistem pengukuran dengan adanya umpan balik pada *set point* sistem tersebut. Pengendali PI mempunyai 2 komponen pengendali utama yaitu kendali *Proportional* (P) dan *Integrative* (I) yang memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri dan dapat saling membantu dalam mengerjakan suatu sistem. Untuk lebih memudahkan, kekurangan dan kelebihan masing-masing kendali penulis sajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tanggapan Sistem Kontrol PI terhadap Perubahan Parameter [14]

Tanggapan Sistem Loop Tertutup	<i>Risetime</i>	<i>Overshoot</i>	Waktu Turun	<i>Error Steady State</i>
Proporsional ( $K_p$ )	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun

Integral (Ki)	meningkat	Meningkat	Meningkat	Hilang
---------------	-----------	-----------	-----------	--------

Untuk memudahkan dalam memahami konsep teknik kendali PI silakan menyermati diagram blok pengendali PI pada Gambar 2.4 di bawah ini.



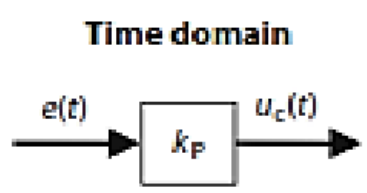
Gambar 2. 4 Diagram Blok Pengendali PI [10]

**a. Kontrol Proporsional**

Kontrol proporsional adalah aksi kontrol yang paling dasar yang dipakai dalam dunia industri. dilambangkan dengan P dalam kontrol PI, pengontrol ini bekerja dengan menghasilkan *Output* yang sebanding dengan *error* yang didapat dari hasil selisih antara *input* dan *set point*. *Time Domain* dari kontrol proporsional sebagai berikut:

$$Time Domain : u(t) = k_p e(t) \tag{2.1}$$

Dimana proporsional gain dilambangkan dengan  $k_p$  dan *error* dilambangkan dengan  $e$ . Gambar 2.5 menunjukkan blok diagram kontrol proporsional.



Gambar 2. 5 Blok Diagram Kontrol Proporsional[11]

Pengaruh kontrol P pada sistem, yaitu:

1. menambah maupun mengurangi tingkat kestabilan sistem.
2. dapat memperbaiki respon transien (antara lain: *rise time* dan *settling time*).
3. Mengurangi *error steady state* (jika ingin menghilangkan *error steady state* membutuhkan nilai  $K_P$  yang besar sehingga akan menjadikan sistem lebih tidak stabil)[11].

2. Diararang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Diararang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

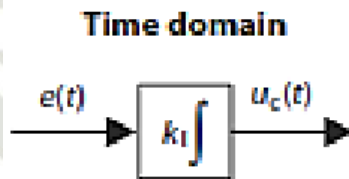
kelemahan pada kontrol proporsional yaitu selalu meninggalkan *offset* pada sinyal keluarannya sehingga kontroler ini tidak dapat digunakan sendiri. Pada banyak kasus, biasanya kontroler proporsional dikombinasikan dengan kontrol integral yang dapat menghilangkan *offset* yang ditinggalkan oleh kontrol proporsional [12].

**Kontrol integral**

Kontrol integral atau nama lainnya ialah aksi kontroler *reset*. Kontroler ini bergerak dengan cara mengasih aksi pemeriksaan oleh *offset* yang didapatkan dari pengendali proporsional. Kontrol integral memberikan cara pemeriksaan yang berdasarkan waktu yang diatur olehnya, jadi saat 0,5. Kontroler ini tidak bisa tegak dengan sendirinya jadi harus digabungkan dengan pengendali proporsional. *Output* dari kontrol ini sangat berpengaruh dengan pergantian yang sama oleh nilai sinyal yang salah. Dengan *Time Domain* berikut:

$$Time Domain : u(t) = k_i \int e(\tau) d\tau \tag{2.2}$$

Dimana *integral gain* dilambangkan dengan  $k_i$ . Gambar 2.6 menunjukkan blok diagram kontrol integral.



Gambar 2. 6 Blok Diagram Kontrol Integral[11].

Pengaruh kontrol I pada sistem, yaitu:

1. Bisa menghapus *error steady state*.
2. respon yang dikasih pengendali ini pada sistem mengalami penurunan laju bila dibandingkan dengan kontrol P, kontrol ini juga menyebabkan ketidakseimbangan sebagai akibat dari penambahan orde sistem [11].

**Metode Heuristik**

Metode *Heuristik* adalah metode pemecahan masalah yang menggunakan eksplorasi dan cara percobaan beberapa kali. *Heuristik* merupakan suatu metode untuk menemukan solusi secara penalaan. Rancangan metode heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja *plant* yang akan dikendalikan.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Pada perancangan sistem pengendalian PI dilakukan pencarian nilai besarnya  $K_p$  dan  $K_i$ . Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (*Heuristic Method*):

1. Penalaan parameter pengendali dimulai dengan menggunakan pengendali PI.
2. Kemudian dilakukan beberapa kali percobaan untuk mendapatkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  dengan respon transien yang sesuai.

Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh [18]

### 2.5 Logika Fuzzy

*Fuzzy Logic* merupakan sebuah sistem pintar yang pertama kali ditemukan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Istilah *Fuzzy* digunakan untuk membedakan satu himpunan dengan himpunan lainnya yang berdasarkan dengan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas. Teori himpunan ini merupakan pengembangan dari teori himpunan tegas yang terinspirasi dari cara manusia mempersepsikan suatu nilai yang tidak jelas [19]. Nilai keanggotaan pada *Fuzzy* tidak hanya bernilai 0 atau 1, melainkan juga menghadirkan besaran nilai yang terletak diantara 0 dan 1 [20]. Seperti dapat dianalogikan dalam keadaan suhu ruangan, pada himpunan tegas hanya terdapat dua nilai, yaitu dingin bernilai 0 dan panas bernilai 1. Dengan adanya himpunan *Fuzzy*, nilai keanggotaan diantara 0 dan 1 dapat berupa sejuk, hangat, dan normal. Perancangan *Fuzzy* terdiri dari tiga tahapan, yaitu *fuzzifikasi (fuzzification)*, sistem inferensi *Fuzzy (Fuzzy inference system)* dan *Defuzzifikasi (deFuzzification)*. Hasil dari proses-proses tersebut tergantung dari variabel *Fuzzy*, batas himpunan *Fuzzy*, dan variabel non *Fuzzy*. Beberapa istilah yang perlu diketahui dalam memahami sistem *Fuzzy*

1. Variabel *Fuzzy*
2. Variabel *Fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *Fuzzy* yang dapat berupa kecepatan, ketegangan, usia.
3. Himpunan *Fuzzy*  
 Himpunan *Fuzzy* adalah suatu grup yang mewakili kondisi tertentu dalam suatu variabel *Fuzzy* [19], contohnya seperti variabel suhu terbagi atas 5 himpunan *Fuzzy*, yaitu : dingin, sejuk, normal, hangat, panas.  
 Himpunan *Fuzzy* mempunyai dua atribut, yaitu :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

a. *Linguistik*, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami.

b. *Numeris*, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel.

4 Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan merupakan suatu keseluruhan nilai yang diizinkan untuk digunakan dalam suatu variabel *Fuzzy*. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif atau bilangan negatif.

5 Domain

merupakan semua nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam dalam suatu himpunan *Fuzzy*. Nilai domain dapat terdiri dari bilangan positif dan juga bilangan negatif [21].

6 Fungsi keanggotaan (*Membership Function*)

merupakan kurva yang memetakan setiap titik-titik *input* ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1[20].

**2.5.1 Himpunan Fuzzy**

Pada logika *boolean*, satu variabel hanya diperbolehkan menempati salah satu himpunan saja, sedangkan pada himpunan *Fuzzy* sebuah individu bisa saja merupakan anggota dari pada dua himpunan yang berbeda. Seberapa besar pengaruhnya dalam himpunan tersebut dapat dilihat pada derajat keanggotaannya [21].

Himpunan *Fuzzy A* pada semesta *X* dapat dinyatakan sebagai himpunan pasangan berurutan (*set of ordered pairs*) baik diskrit maupun kontinu.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$$

Dengan  $\mu_A$  merupakan bentuk fungsi keanggotaan himpunan *Fuzzy A*. Fungsi keanggotaan memetakan setiap anggotanya pada suatu nilai yang terletak diantara [0,1] yang disebut derajat keanggotaan (*membership grade* atau *membership value*). Sehingga  $\mu_A(x)$  merupakan derajat keanggotaan *x* pada himpunan *A*, dimana *x* termasuk dalam semesta pembicaraan *X*.

Beberapa cara untuk merepresentasikan himpunan *Fuzzy* adalah sebagai berikut [22]

1. *Support*

*Support* dari himpunan *Fuzzy A* merupakan kumpulan semua titik  $x \in X$  yang memberikan nilai  $\mu_A(x) > 0$ , atau

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\text{Support}(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\} \tag{2.21}$$

2. *Crossover*

*Crossover* merupakan himpunan yang memuat semua unsur dari semesta yang memiliki derajat keanggotaan sama dengan 0,5 dalam A. Titik *crossover* dari himpunan Fuzzy A terletak dititik dimana  $\mu_A(x) = 0,5$  atau

$$\text{Crossover}(A) = \{\mu_A(x) = 0,5\} \tag{2.22}$$

3. Fungsi Singleton

Fungsi *singleton* merupakan himpunan Fuzzy yang mempunyai *support* pada satu titik tunggal pada himpunan  $x \in X$  dengan fungsi keanggotaan = 1

Sebagai contoh dapat dilihat pada tabel berikut ini. Dimana himpunan Fuzzy X merupakan bilangan bulat dari 1 sampai 10 dengan derajat keanggotaan yang sudah ditentukan pada tabel dibawah ini

Tabel 2.2 Nilai Derajat Keanggotaan Himpunan X

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\mu_A(x)$	0	0,1	0,5	1	1	1	0,8	0,5	0

Maka:

$$\text{support}(X) : \{2,3,4,5,6,7,8\}$$

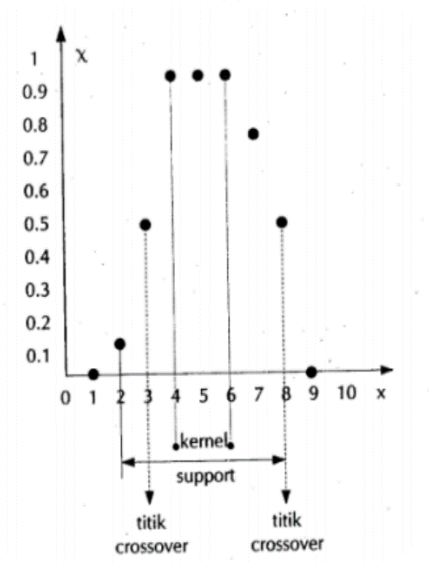
$$\text{Titik crossover} : \{3,8\}$$

$$\text{Titik singleton} : \{4,5,6\}$$

Istilah-istilah Tabel 2.2 dapat direpresentasikan secara grafis pada gambar:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 7 Istilah-istilah dalam Himpunan Fuzz

### 2.5.2 Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi keanggotaan merupakan kurva yang memperlihatkan derajat keanggotaan setiap *input* yang memiliki interval antara 0 sampai 1. pendekatan fungsi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai keanggotaan [21]. Derajat keanggotaan dalam suatu himpunan *Fuzzy* (*degree of membership*) dilambangkan dengan  $\mu$ .

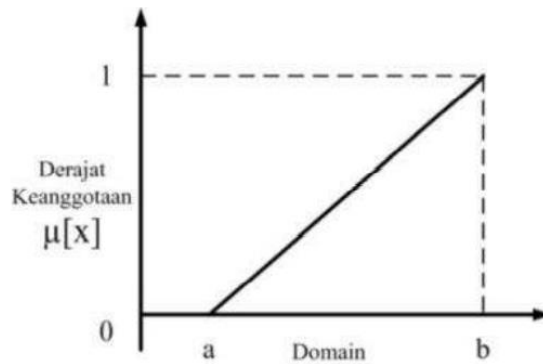
Terdapat lebih dari satu bentuk fungsi keanggotaan (*Membership Function*) pada sistem *Fuzzy*. Dan pada kali ini penulis hanya akan membahas fungsi keanggotaan yang akan digunakan dalam pemodelan sistem *Fuzzy*. Beberapa diantaranya yaitu:

1. Representasi Linear naik

Pada himpunan ini kenaikan himpunan *Fuzzy* dimulai nilai domain pada derajat keanggotaan terendah, kemudian bergerak naik ke kanan menuju ke nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi yang digambarkan sebagai suatu garis lurus [38].

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

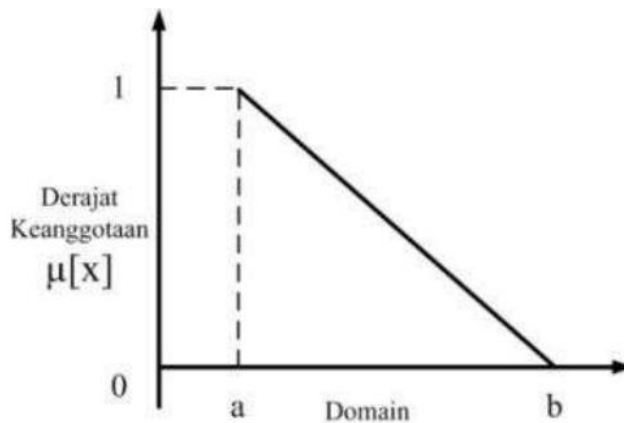
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 8 Representasi Linear Naik[38]

2. Representasi Linear Turun

merupakan kebalikan dari representasi linear naik. Pada model ini kurva berbentuk garis lurus yang bergerak dari nilai tertinggi pada sebelah kiri menuju ke nilai keanggotannya lebih rendah di sebelah kanan [38].



Gambar 2. 9 Representasi Linear Turun[38]

3. Representasi Segitiga

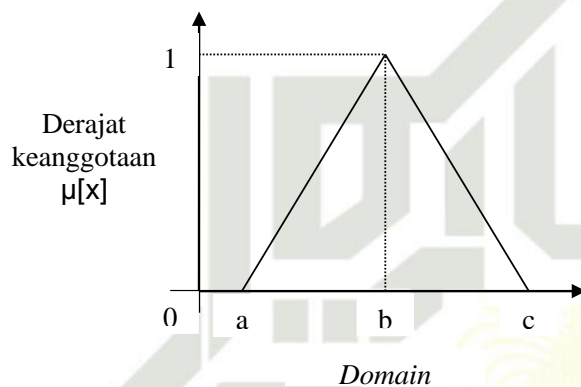
adalah bentuk representasi yang paling umum digunakan yang terdiri dari penggabungan antara dua garis linear yaitu representasi linear naik dan representasi linear turun [28]. kurva segitiga dapat dirumuskan pada persamaan berikut:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases} \quad (2.23)$$



Gambar 2. 10 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga[38]

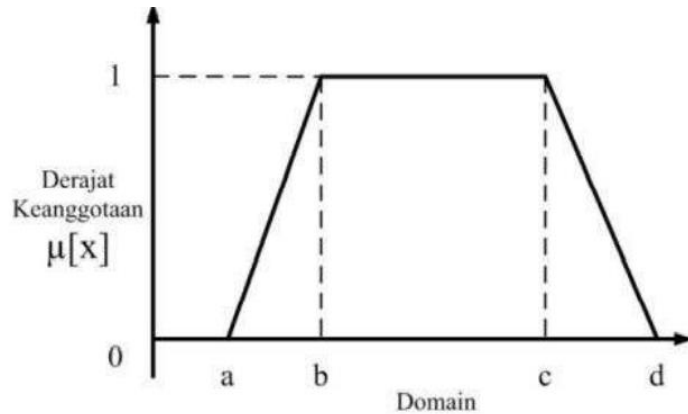
4. Representasi Trapesium

Hampir sama dengan kurva segitiga yang membedakannya ialah ada anggota himbunan yang memiliki derajat keanggotaan bernilai satu di beberapa titik nilai keanggotaannya [38].

$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \\ 0; & x \geq d \end{cases} \quad (2.24)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

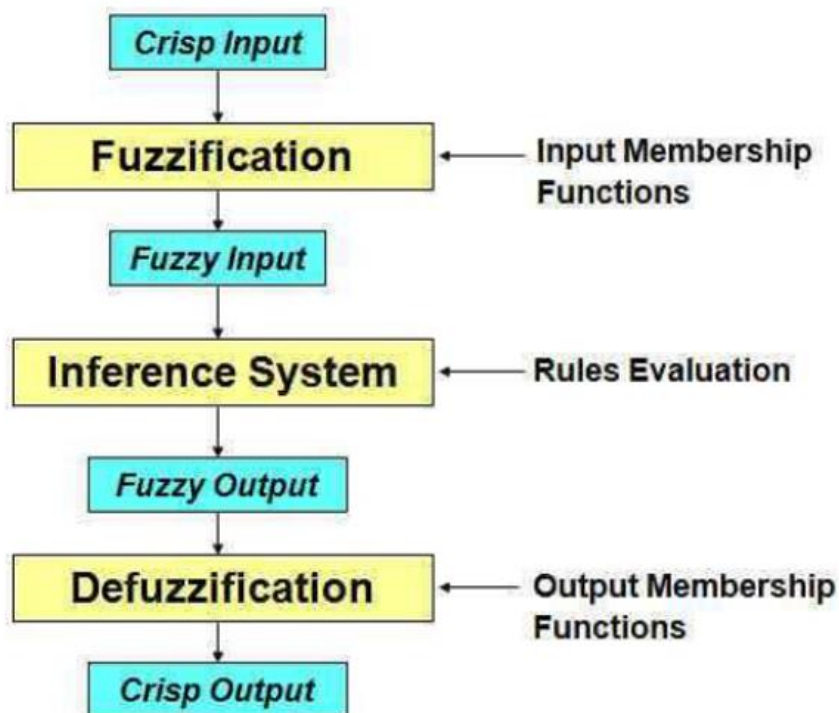
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 11 Representasi Trapesium[38]

### 2.5.3 Tahapan Logika Fuzzy

Logika Fuzzy terdiri dari 3 proses yang bertahap, yaitu *fuzzifikasi*, inferensi Fuzzy, dan *defuzzifikasi*.



Gambar 2. 12 Diagram Alur Sistem Logika Fuzzy[38]

### 2.5.4 Fuzzifikasi

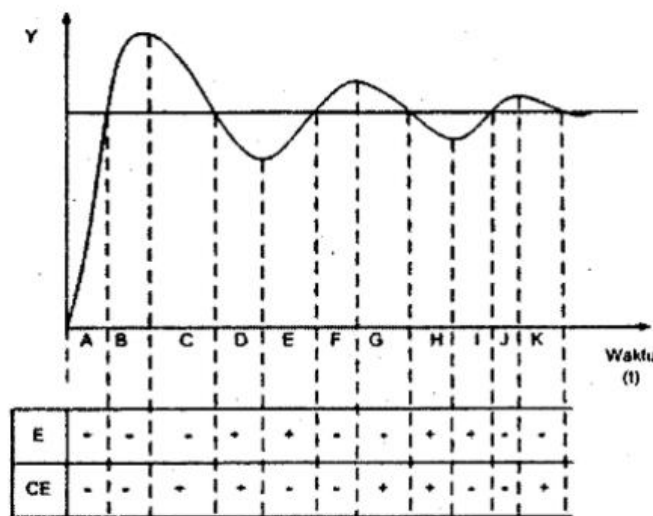
*Fuzzifikasi* adalah sebuah proses dimana seluruh variabel *input/Output* yang berupa nilai tegas diubah ke bentuk himpunan Fuzzy. Rentang nilai variabel *input* dikelompokkan menjadi beberapa himpunan Fuzzy dan tiap anggota himpunan memiliki

Derajat keanggotaan tertentu. Derajat keanggotaan himpunan *Fuzzy* dapat dihitung dengan menggunakan rumus fungsi keanggotaan dari segitiga *fuzzifikasi*[38].

### 2.5.5 Inferensi Fuzzy (logika Pengambilan Keputusan)

Setelah fungsi keanggotaan ditentukan, kemudian langkah selanjutnya adalah membuat *rule base* pengendalian untuk kemudian dapat mengubah setiap *input Fuzzy* menjadi *Output Fuzzy* berdasarkan aturan *if-then* yang telah ditentukan pada *rule base*. Tahap ini disebut sebagai tahap inferensi, yang merupakan bagian penentuan aturan dari sistem logika *Fuzzy*[38].

Terdapat 2 cara untuk menentukan *rule base*, yaitu dengan metode deterministik dan heuristik. Pendekatan heuristik dibuat berdasarkan respon kualitatif pada *plant* yang di simulasikan secara *open loop*. Salah satu referensi untuk membuat *rule base* dengan tujuan memperpendek *rise time* dan meminimalkan *overshoot* dapat dilihat pada Gambar 2.15 dan Tabel 2.3 dimana N(Negatif), Z(Zero), dan P(Positif).



Gambar 2. 13 Respon Grafik Pada Bidang Fase[38]

Tabel 2.3 Basis Aturan *Fuzzy* dengan Tiga Nilai *Linguistik* (N, Z, P)[38]

Aturan ke	Error	Delta error	Output	Referensi	Fungsi
1	P	Z	P	Titik a, e, i	Memperpendek risetime
2	Z	N	N	Titik b, f, j	Mengurangi overshoot



3	N	Z	K	Titik c, g, k	Mengurangi overshoot
4	Z	P	P	Titik d, h, l	Mengurangi osilasi
5	Z	Z	Z	Set point	Sistem berhenti
6	P	N	P	Rentang a, e	Memperpendek risetime
7	N	N	N	Rentang b, f, j	Mengurangi overshoot
8	N	P	N	Rentang c, g	Mengurangi overshoot
9	P	P	P	Rentang d, h	Mengurangi osilasi
10	P	N	Z	Rentang l	Sistem berhenti
11	N	P	Z	Rentang k	Sistem berhenti

Selain itu terdapat 3 aturan yang harus dipatuhi dalam merancang rule base, yaitu:

1. Kelengkapan
2. Kekonsistenan
3. Kekontinuan

Sedangkan untuk operasi implikasi dapat memilih antar menggunakan *or* atau *and*.

3. Defuzzifikasi

*Defuzzifikasi* merupakan proses kebalikan dari *fuzzifikasi*, *defuzzifikasi* bekerja dengan merubah nilai samar pada *Fuzzy* menjadi nilai tegas yang merupakan masukan pada *plant. input* dari proses *Defuzzifikasi* adalah suatu himpunan *Fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan *Fuzzy*, sedangkan *Output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *Fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *Fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tegas (*crisp*) tertentu sebagai *Output* [38].

Ada beberapa bentuk metode *Defuzzifikasi*, yaitu:

Metode *Centroid (Composite Moment)*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat ( $z^*$ ) daerah *Fuzzy*.

Metode *Bisektor*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *Fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan separuh dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *Fuzzy*.

Metode *Of Maximum (MOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

Metode *Largest Of Maximum (LOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

5. Metode *Smallest Of Maximum (SOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

Untuk memiliki kriteria yang cocok dalam menentukan metode *defuzzifikasi*, berikut adalah rangkuman dari berbagai metode *defuzzifikasi* yang ada :

Tabel 2.4 Rangkuman Kriteria Metode *Defuzzifikasi* yang Sering Digunakan[38]

	COA	MOM	LOM	SOM	CEA
Kontinuitas	Baik	Kurang baik	Kurang baik	Kurang baik	Kurang baik
Disambiguitas	Baik	Baik	Baik	Baik	Kurang baik
Plausibilitas	Ya	Ya	Tidak	tidak	Ya
Komputasi	Kurang baik	Baik	Baik	Baik	Kurang baik

2.6 Model *Fuzzy Mamdani*

Model *Mamdani* sering juga dikenal dengan nama Metode *Sum*. Model ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Agar dapat menghasilkan *Output* , diperlukan empat tahapan :

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

#### 1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pada Model *Mamdani*, pada variabel *input* dan variabel *Output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *Fuzzy*.

#### 2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada Model *Mamdani*, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*.

#### 3. Komposisi Aturan

Tidak seperti penalaran monoton, jika sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada tiga cara yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *Fuzzy*, yaitu *max*, *additive* dan *probabilistic OR* (*prob or*)

##### a. Metode Max (*Maximum*)

Pada metode ini, solusi himpunan *Fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *Fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *Output* dengan menggunakan operator OR (union). Apabila digunakan fungsi implikasi *min*, maka metode komposisi ini sering disebut dengan nama *max-min* atau *min-max* atau *mamdani*.

##### b. Metode Additive (*Max-Min*)

Pada metode ini, solusi himpunan *Fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-Max-Min* terhadap semua *Output* daerah *Fuzzy*.

##### c. Metode Probabilistik OR (*prob or*)

Pada metode ini, solusi himpunan *Fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *Output* daerah *Fuzzy*.

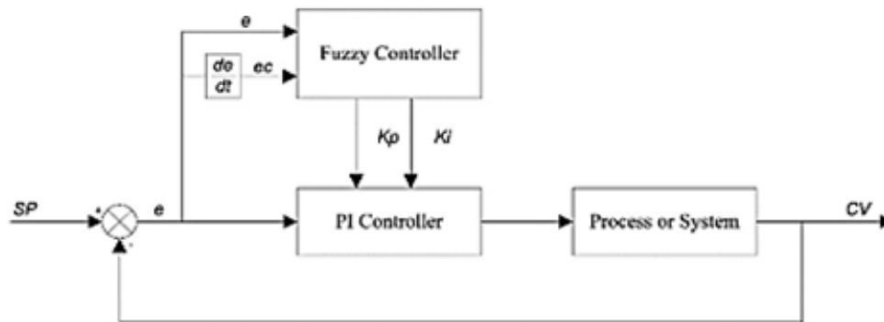
#### 4. Defuzzifikasi

Ada beberapa bentuk metode *defuzzifikasi* yang digunakan pada model *mamdani*, yaitu: *Centroid*, *Bisektor*, *Mean of Maximum*, *Largest of Maximum* atau *Smallest of Maximum* [38].

## 2.7 Auto Tuning Fuzzy PI

Pengontrol PI *Auto-Tuning Fuzzy* (*Fuzzy-PI*) adalah pengontrol yang mengambil struktur pengontrol PI konvensional sebagai basisnya, di mana parameter pengontrol PI pertama kali disetel dengan metode penyetelan konvensional, misalnya metode loop

Ziegler-Nichols[30], dan kemudian secara otomatis diatur oleh pengontrol *Fuzzy*. Struktur pengontrol *Fuzzy* yang digunakan dalam pengontrol *Fuzzy-PI* sama dengan pengontrol logika *Fuzzy*, yang terdiri dari antarmuka fuzzification, basis pengetahuan, inferensi, dan antarmuka defuzzification. Setiap fungsi komponen dijelaskan secara rinci dipaparkan Logika *Fuzzy*. Diagram blok dari pengontrol *Fuzzy-PI* yang diusulkan ditampilkan pada gambar 2.16 yang menunjukkan variabel *input* dan *Output* dari setiap pengontrol. Untuk pengontrol *Fuzzy*, variabel *input* adalah error ( $e$ ) dan error changing rate ( $de/dt$  atau  $ec$ ), sedangkan variabel *Output*  $K_p$  dan  $K_i$ . Desain pengontrol diadaptasi dari Si dan Wang [31], yang mencakup set *Fuzzy*, nilai linguistik, aturan *Fuzzy*, dan persamaan untuk menghitung nilai baru  $K_p$  dan  $K_i$  di pengontrol PI.



Gambar 2. 14 Diagram Pengendali Auto Tuning Fuzzy PI[32]

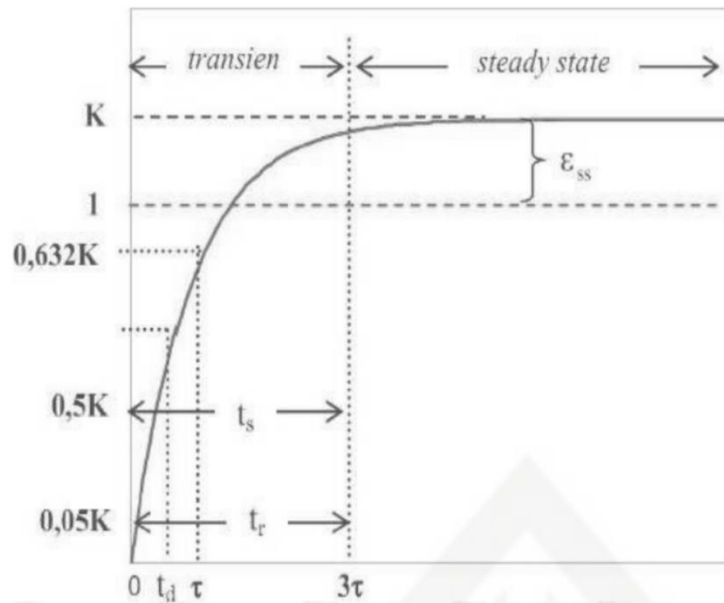
## 2.8 Identifikasi Respon Transien

Pengendalian suhu pada *Heat Exchanger* merupakan sistem orde satu, oleh sebab itu metode identifikasi yang dilakukan adalah metode identifikasi statis. Metode identifikasi dilakukan dengan pendekatan grafis, di mana sinyal uji diberikan pada sistem untuk mengetahui respon *open loop* sistem. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem.

Salah satu metode identifikasi statis adalah metode pengamatan respon waktu. Identifikasi sistem dengan metode ini bekerja berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan *step*. Karakteristik respon waktu untuk sistem orde pertama diberikan berdasarkan respon sistem terhadap masukan sinyal *step*. Karakteristik respon waktu sistem orde pertama dibedakan menjadi karakteristik respon transien dan keadaan tunak (*steady state*). Grafik respon sistem orde pertama untuk  $X_{ss} = 1$  dan  $Y_{ss} = K$ .

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 15 Respon Sistem Orde Satu[8]

Respon transien terdiri dari[8]:

1. Spesifikasi teoritis :

Konstanta waktu ( $\tau$ ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai dari  $t=0$  sampai dengan respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*. Konstanta waktu menyatakan kecepatan respon sistem. Konstanta waktu yang lebih kecil akan mempercepat respon sistem.

2. Spesifikasi praktis :

- a) Waktu tunak atau *settling time* ( $t_s$ ), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_s$  dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$t_s (\pm 3\%) \approx 5\tau$$

$$t_s (\pm 4\%) \approx 2\tau$$

$$t_s (\pm 5\%) \approx 0,5\tau$$

- b) Waktu naik atau *rise time* ( $t_r$ ), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak (*steady state*). Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_r$  dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$t_r (5\% - 95\%) \approx \tau \ln 19$$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$t_r (10\% - 90\%) \approx \tau \ln 9$$

- c) Waktu tunda atau *delay time* ( $t_d$ ), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai  $t=0$  sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya factor keterlambatan respon akibat proses *sampling*. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu  $\tau$ , maka  $t_d$  dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$t_d (\pm 3\%) \approx \tau \ln 12$$

- d) Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) sistem orde pertama diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* ( $E_{ss}$ ).

$$E_{ss} = R_{ss} - C_{ss}$$

Dimana :

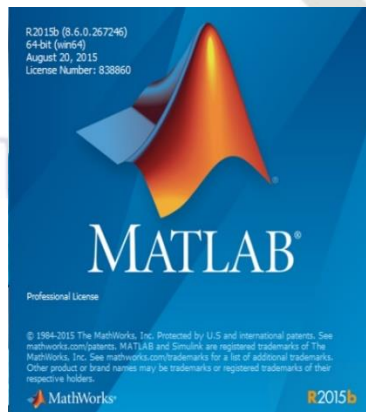
$E_{ss}$  = Error steady state

$R_{ss}$  = Masukkan Sistem pada *steady state*

$C_{ss}$  = Keluaran Sistem pada *steady state*

## 2.9 MATLAB

*Matrix Laboratory* atau disingkat MATLAB adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi (semakin mudah penggunaannya ketika tingkat bahasa pemrograman semakin tinggi) dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkungan tunggal. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elemennya tanpa membutuhkan pendeklarasian *array*.



Gambar 2. 16 Opening R2015b



Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. Aplikasi Matlab ini banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab juga dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *plot* grafik. Pada *software* Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu:

1. *Command Window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Command history* berfungsi agar fungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat digunakan kembali.
3. *Command Directory* berfungsi untuk menamoilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan Matlab.
4. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.

Penelitian ini melakukan pemrograman modeling dan simulasi untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. Fitur Matlab yang digunakan untuk simulasi ini disebut *Simulink*.

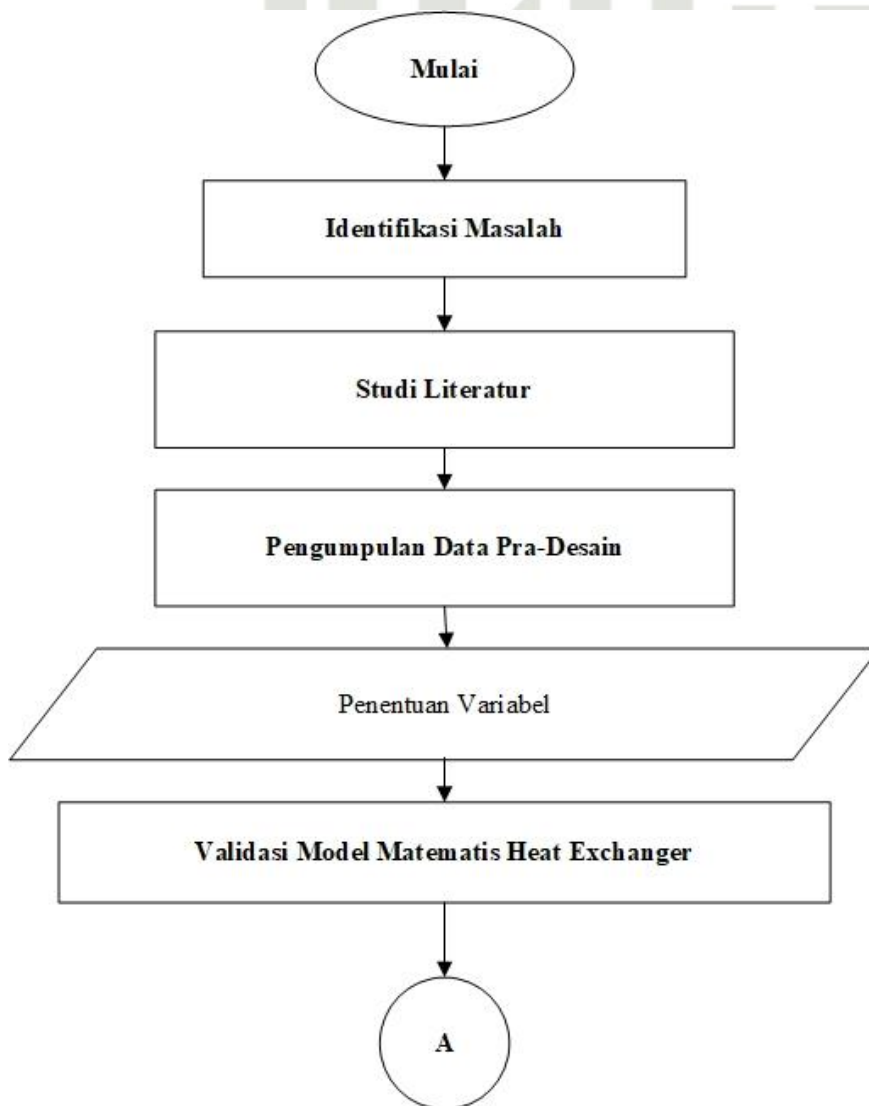
**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Proses Alur Penelitian

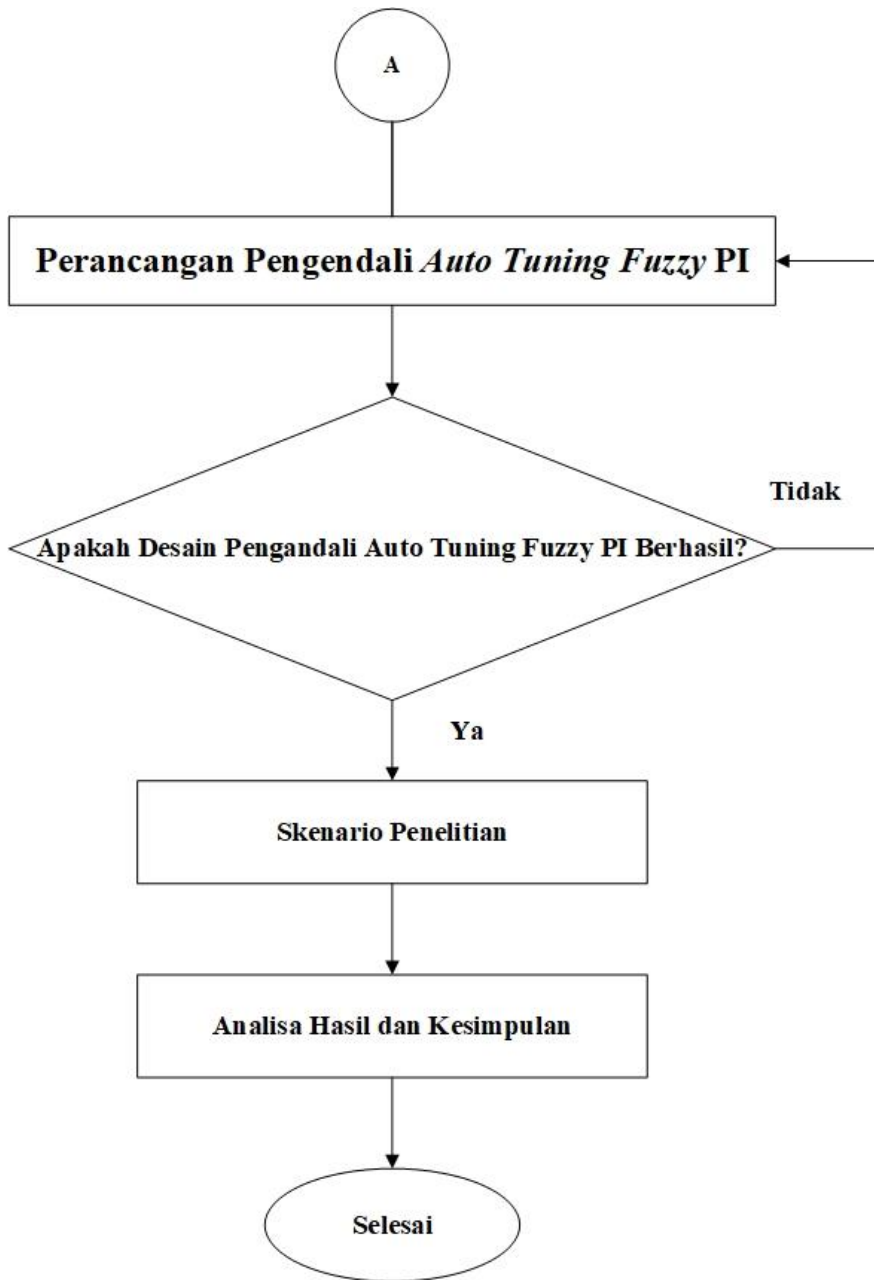
Pada penelitian tugas akhir ini tahapan-tahapan akan peneliti lakukan yaitu mulai dari penentuan judul, perumusan masalah, tujuan yang diharapkan dari suatu penelitian yang dilakukan, proses pemodelan matematis sistem, perancangan pengendali hingga mendapatkan hasil akhir dalam penelitian Tugas Akhir ini. Ada pun alur penelitian yang dilakukan dapat digambarkan melalui *flowchart* sebagai berikut:



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

## 2. Tahapan Penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian tersebut, agar tujuan penelitian dapat tercapai, beberapa tahapan penelitian yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

### 1. Identifikasi Masalah

Adapun masalah yang diangkat pada penelitian Tugas Akhir ini adalah pengendalian Suhu keluaran *Heat Exchanger* menggunakan rancangan kendali *Auto Tunning Fuzzy-PI* untuk mempercepat respon waktu serta mengurangi *overshoot*.

### 2. Studi literatur

Tahap yang pertama adalah studi literatur yaitu mempelajari penelitian terkait dari beberapa referensi seperti buku, *paper*, jurnal dan sumber lainnya mengenai *Heat Exchanger*, pengendali PI, pengendali *Fuzzy* dan pengendali kendali *Auto-tuning Fuzzy PI*.

### 3. Pengumpulan data pra-desain

Pengumpulan data pre-desain dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dari *plant* yang akan diteliti dan mengetahui permodelan matematis *Heat Exchanger*, pada penelitian ini model matematis didapatkan dari grafik pengukuran langsung yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya[3].

### 4. Penentuan variabel

Data pra-desain yang telah dikumpulkan dibuat dalam persamaan *transfer function*

$$G(s) = \frac{Kpe^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (3.1)$$

Dengan memasukkan nilai parameter dari tabel 2.1. Maka diperoleh *transfer function Heat Exchanger*:

$$G(s) = \frac{1}{21.3s + 1} \quad (3.2)$$

### 5. Validasi model matematis sistem *Heat Exchanger*

Validasi model matematis sistem adalah tahap pengujian model matematis dalam bentuk *state space* dari sistem yang sudah diubah ke dalam bentuk bahasa pemrograman Matlab *Simulink* guna validasi tersebut adalah bentuk keluaran sistem sudah sesuai dengan hasil keluaran rujukan yang merupakan simulasi dari *plant asli Heat Exchanger*[3].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Skenario Penelitian

Skenario penelitian merupakan tahapan/langkah secara umum tentang penelitian yang dilakukan seperti melakukan pengujian terhadap sistem atau plant.

Perancangan pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI*

Di tahap ini peneliti merancang pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* supaya respon *Output* sistem mengikuti nilai *set point* yang diberikan yang terdapat di jurnal rujukan dan sesuai dengan *settling time* yang diinginkan.

Analisa hasil pengujian

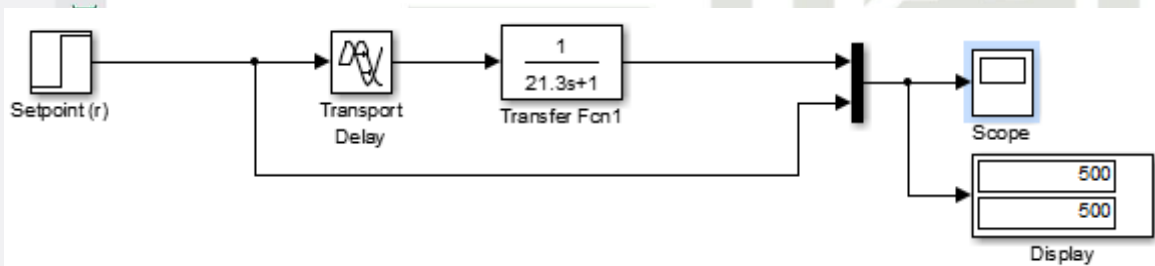
Di tahap ini peneliti menganalisa *Output* sistem sebelum dan sesudah dipasang pengendali. Apabila telah terpenuhi penelitian yang dilakukan berhasil, dan apabila sebaliknya maka perlu dikaji lebih lanjut.

9. Kesimpulan

Setelah melakukan analisis hasil kemudian sudah sesuai dengan tujuan maka penelitian yang dilakukan berhasil dan bisa didapat kesimpulan, juga memberikan saran untuk dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

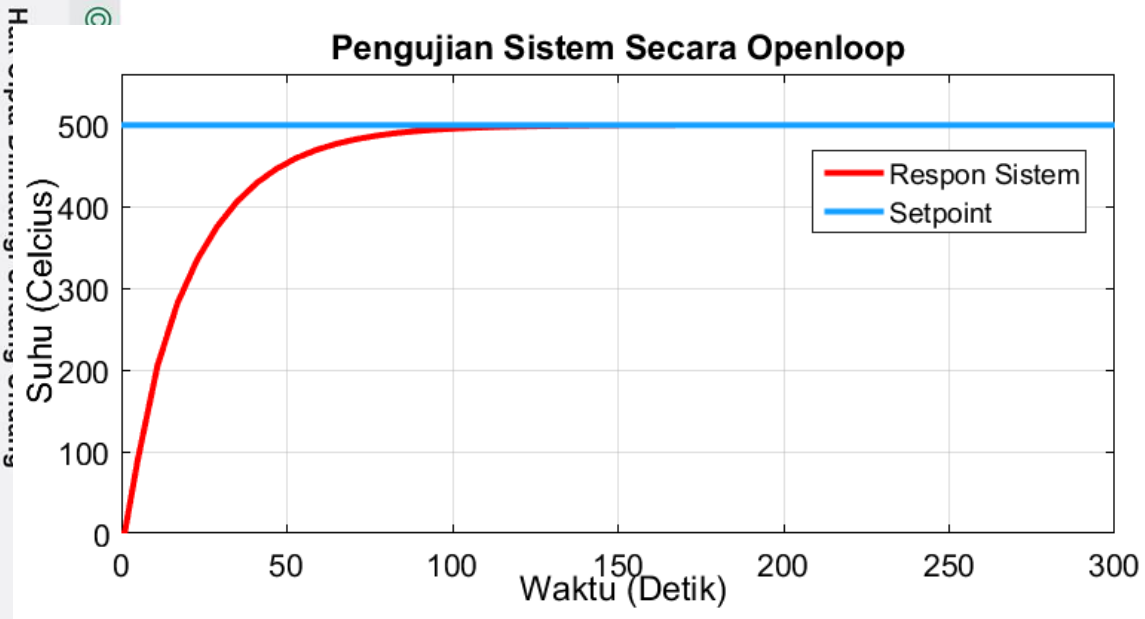
3.3 Validasi Pemodelan Matematis *Heat Exchanger*

Validasi pemodelan matematis untuk sistem *Heat Exchanger* diuji menggunakan *simulink* Matlab R2015b dengan cara sistem disimulasikan secara *open loop* dengan memasukan nilai pemodelan matematis pada artikel Jurnal[3].



Gambar 3. 2 Diagram Simulink *Open Loop Heat Exchanger*

Setelah merancang diagram blok *Simulink* sistem tersebut, maka sistem disimulasikan dan menghasilkan grafik yang menyatakan respon keluaran sistem secara *open loop*. Grafik respon keluaran sistem dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 3 Respon *Open Loop* Suhu *Heat Exchanger*

Berdasarkan grafik respons sistem di atas terlihat bahwa sistem telah mencapai *set point* yang ditentukan yaitu 500°C, sistem memiliki *delay* dan *rise time* yang cukup lama yaitu selama 59.046 s sehingga perlu dipasangkan pengendali yang bisa mengatasi masalah tersebut sehingga menghasilkan system yang stabil.

**3.4 Skenario Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam program Matlab, berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *set point* 500°C. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian dengan melihat hasil grafik pada simulasi, data yang diambil yaitu respon *transien* dari pengujian tersebut. Adapun pengujian yang akan dilakukan yaitu:

1. Simulasi secara *Open Loop*
2. Pengujian pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI*
3. Pengujian dengan melakukan perubahan pada *set point*.

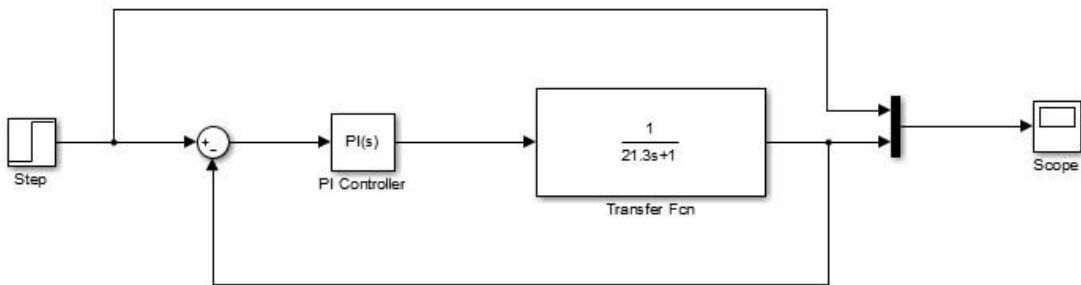
**3.5 Perancangan Pengendali**

**3.5.1. Perancangan Pengendali *PI Tuning***

Pada perancangan *PI Tuning* ini, langkah pertama yang dilakukan adalah membuat rangkaian *Simulink* pada Matlab seperti gambar dibawah ini:

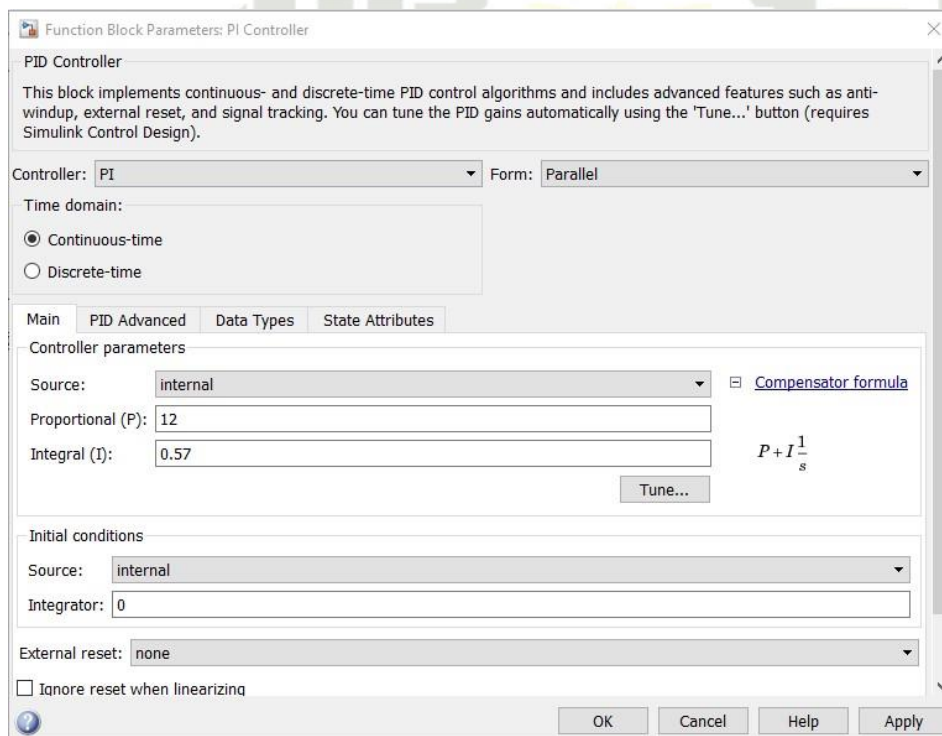
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Hak Cipta ©
1. Diararang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Diararang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 4 Rangkaian *Simulink PI Tuning*

Kemudian klik pada blok *PI Controller* dan akan muncul tampilan seperti gambar dibawah ini:



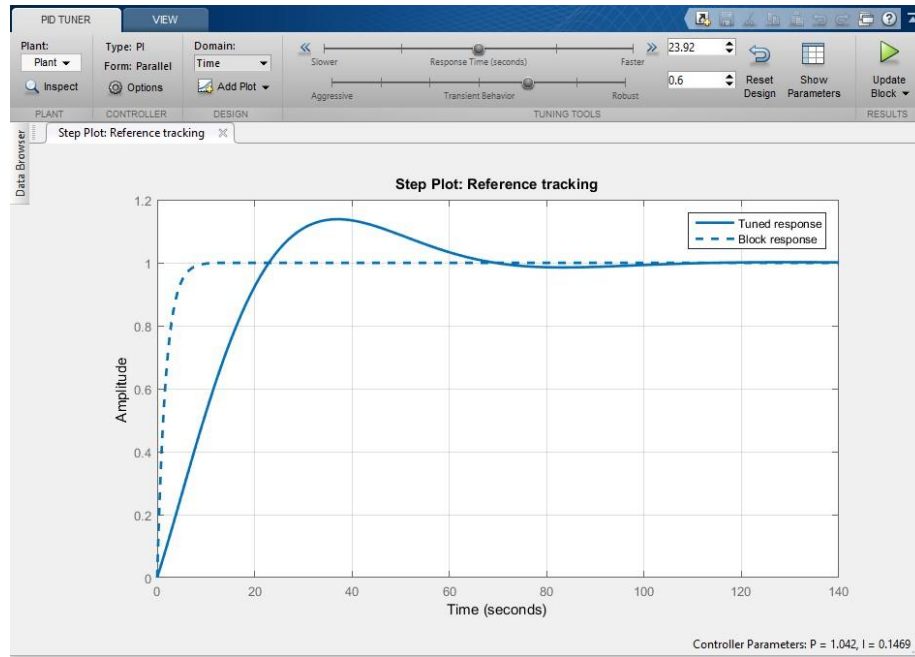
Gambar 3. 5 Tampilan Blok *PI Controller*

Langkah selanjutnya adalah melakukan tuning dengan menekan tombol *tune* yang ada pada tampilan blok *PI Controller* di atas. Kemudian geser tombol lingkaran yang ada pada garis *slower* dan *Aggressive* hingga mendapatkan nilai P dan I yang menghasilkan grafik *scope* yang mencapai *set point*, respon sistem yang cepat dan stabil, seperti tampilan pada gambar berikut :



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 6 Tampilan Grafik PI Tuning

### 3.5.2. Perancangan Pengendali Auto Tuning Fuzzy PI

Pada perancangan desain pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* digunakan metode *fuzzy mamdani*. Metode *fuzzy mamdani* digunakan karena perancangannya yang sederhana dan mudah dipahami. Perancangan pengendali *fuzzy* terdiri dari 3 tahapan, yaitu:

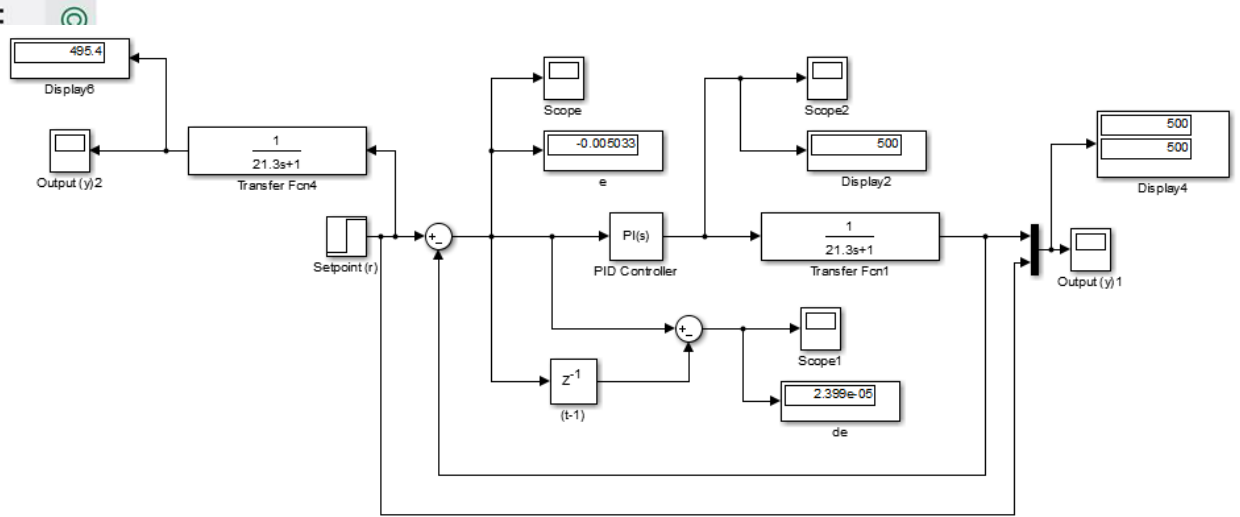
#### 1. Fuzzifikasi

Pada tahap ini, variable linguistik diubah kedalam bentuk himpunan *fuzzy*. Variabel linguistic *input fuzzy* terdiri dari *error* dan *delta error*, dimana:

$$e(t) = y_p(t) - y(t)$$

$$\Delta e(t) = e(t) - e(t - 1)$$

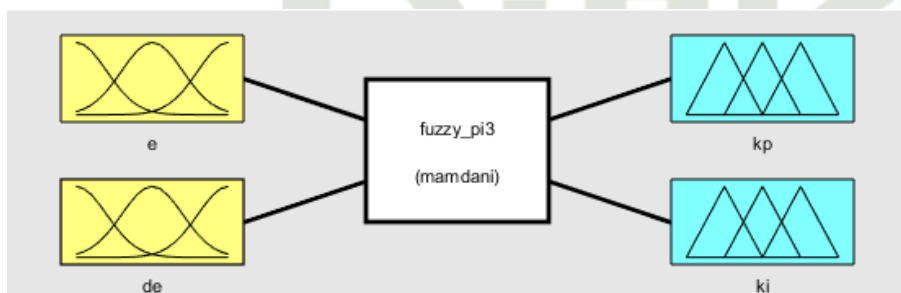
Lebar Fungsi keanggotaan untuk *error* dan *delta error* didapatkan dari rangkaian penentuan E dan Delta E seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 3. 7 Rangkaian Simulink Penentuan Nilai Error dan Delta Error

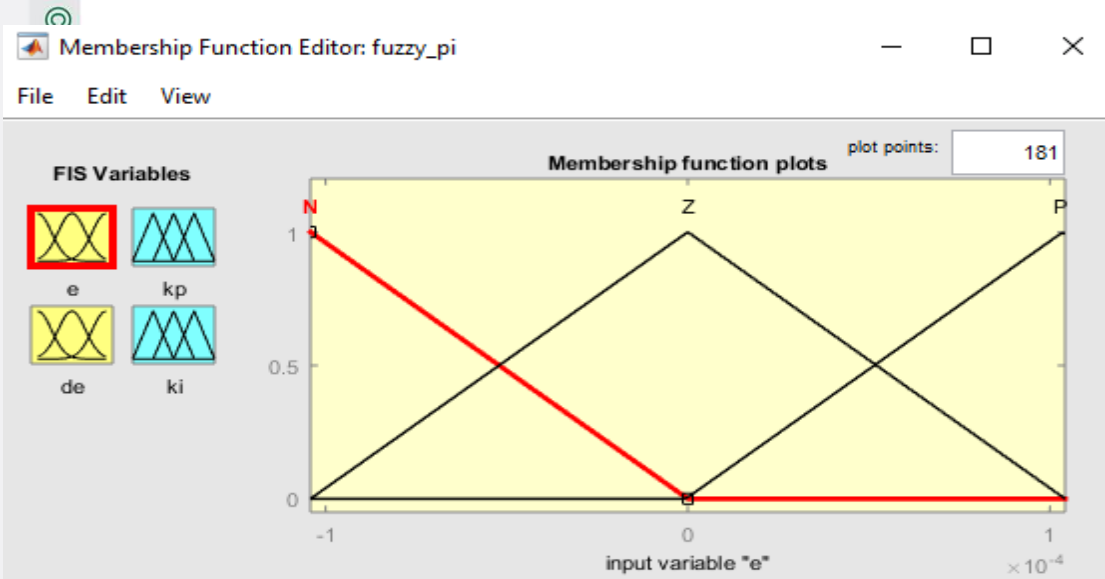
Pada rangkaian penentuan nilai *error* dan *delta error* diatas, nilai P dan I dimasukkan ke dalam blok *PI Controller* sesuai dengan hasil tuning PI. Kemudian rangkaian tersebut di *run* dan menghasilkan nilai *error* -0,005033 dan nilai *delta error* -0,005282, maka nilai tersebut diganti dengan nilai *setpoint*.

Setelah mendapatkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  sebagai *Output Fuzzy* dan nilai Error dan Delta Error sebagai *Input Fuzzy* selanjutnya kita merancang pengendali *Fuzzy* dengan 3 anggota himpunan *Fuzzy* yaitu N, Z, dan P. Berikut perancangan logika *Fuzzy* dengan 2 *input* dan 2 *Output*.



Gambar 3. 8 Perancangan Logika Fuzzy dengan 2 Input dan 2 Output

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 9 Tiga Anggota Himpunan *Fuzzy*

Setelah menentukan *input* dan *Output* serta rentangnya, langkah selanjutnya adalah menentukan *rule base fuzzy*.

## 2. Rule Base

Terdapat dua pendekatan yang dipakai dalam membuat *rule base*, yaitu pendekatan heuristic dan pendekatan deterministic. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan pendekatan heuristic dimana, pendekatan ini lebih mudah dalam pengaplikasiannya. Pada pendekatan heuristic, *rule base* dirancang berdasarkan pengetahuan kualitatif dari respon plant secara *open loop*. Pada perancangan plant yang bertujuan untuk menghasilkan respon plant dengan nilai *error steady state* yang kecil maka aturan-aturan tabel sebelumnya dapat dijadikan sebagai acuan dalam membuat *rule base*. Adapun *rule base* yang dibuat adalah sebagai berikut:

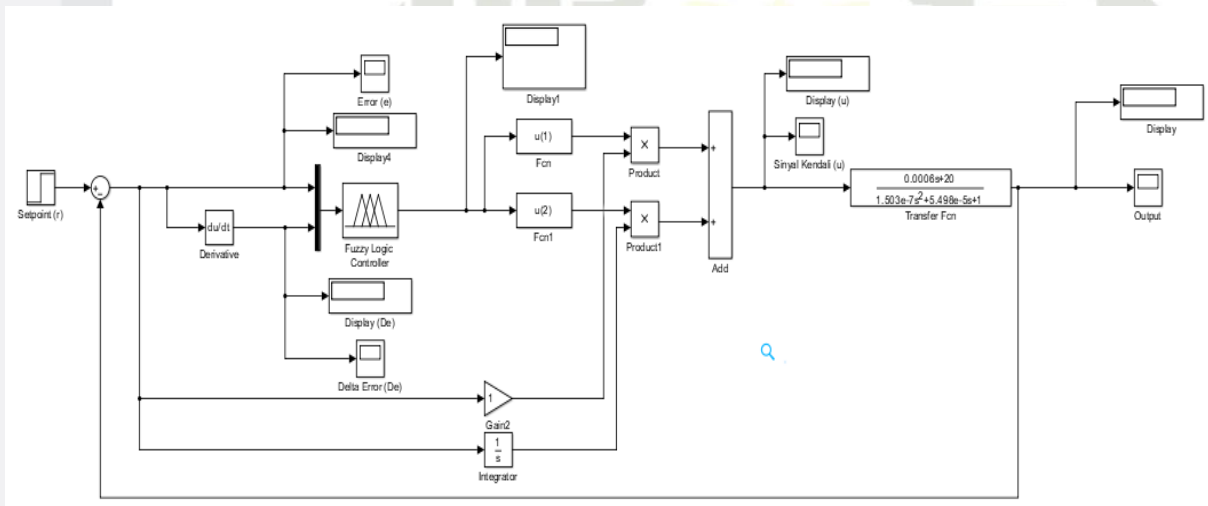
1. *If (e is P) and (de is N) then (Kp is Z) (Ki is Z)*
2. *If (e is P) and (de is Z) then (Kp is P) (Ki is P)*
3. *If (e is P) and (de is P) then (Kp is P) (Ki is P)*
4. *If (e is Z) and (de is N) then (Kp is N) (Ki is N)*
5. *If (e is Z) and (de is Z) then (Kp is Z) (Ki is Z)*
6. *If (e is Z) and (de is P) then (Kp is P) (Ki is P)*
7. *If (e is N) and (de is N) then (Kp is N) (Ki is N)*
8. *If (e is N) and (de is Z) then (Kp is N) (Ki is N)*
9. *If (e is N) and (de is P) then (Kp is Z) (Ki is Z)*

Tabel 3.1 Rule Base Fuzzy

<b>Delta Error</b>	<b>Negative</b>	<b>Zero</b>	<b>Positive</b>
<b>Negative</b>	Kecil	Kecil	Sedang
<b>Zero</b>	Kecil	Sedang	Besarnya
<b>Positive</b>	Sedang	Besarnya	Besarnya

**3. Defuzzifikasi**

Metode defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *centroid* berdasarkan karakteristiknya yang terdapat pada tabel sebelumnya.



Gambar 3. 10 Rangkaian Simulink Sistem Pengendali Auto Tuning Fuzzy PI

Gambar diatas merupakan rancangan pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* pada sistem *Heat Exchanger* dengan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  dari hasil metode *PI Tuning* yang sesuai dengan respon plant. Setelah mendapatkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang sesuai dengan respon plant, kemudian untuk menentukan respon *transien* dari sistem ketika nilainya tidak terdapat pada *workspace*, maka digunakan metode *zoom*.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa pengendali *Auto tuning Fuzzy PI* dengan nilai parameter  $K_p$  sebesar 12 dan parameter  $K_i$  sebesar 0,57 untuk mengendalikan Temperatur pada sistem *Heat Exchangaer* menghasilkan respon sistem dimana dapat mempercepat respon waktu dan mengatasi gangguan. Respon waktu sebelum diberikan pengendali yaitu *rise time* 62,657 detik, *settling time* 84,272 detik dan *delay time* 15,71 detik. Kemudian ketika diberikan pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* dapat mempercepat respon waktu dengan nilai *rise time* 5,202 detik, *settling time* 6,88 detik dan *delay time* 1,23 detik. Kemudian sistem mampu stabil ketika diberi gangguan 5% dari setpoint.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan pengendali *Auto Tuning Fuzzy PI* menunjukkan bahwa pengendali bisa mengikuti *set point* yang diberikan dan memiliki respon *transient* yang bagus. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan pengendali baru untuk mengatasi masalah yang terdapat di *open loop* yaitu memiliki respon waktu yang lambat.

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR PUSTAKA

1] Mursyitah, Dian. 2014 “Studi Performansi Pengendali *Sliding Mode* dan PID pada Pengendalian Kecepatan Motor DC”, UIN Suska RIAU.

2] A. Ahmady, “Pengembangan Algoritma Sistem Kendali Cerdas dengan Metode Adaptive Fuzzy untuk *Inverted Pendulum*”, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2010.

3] Dwiyaniti, Murie. “*Tuning Parameter PID dengan Metode Ciancone pada Plant Heat Exchanger*”. Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, 2013.

4] Amri, Djulil. “Analisa Respon Pengendalian *Feedforward* dan PID pada Pengendalian Temperatur *Heat Exchanger*”. Universitas Sriwijaya, Palembang, 2014.

5] S. N. Saranya, V. M. Sivakumar, M. Thirumarimurugan, and G. C. Sowparnika, “An analysis on modeling and optimal control of the heat exchangers using PI and PID controllers,” *2017 4th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. ICACCS 2017*, 2017, doi: 10.1109/ICACCS.2017.8014589.

6] S. Tabatabaee, P. Roosta, M. S. Sadeghi, and A. Barzegar, “Fuzzy PID controller design for a heat exchanger system: The energy efficiency approach,” *ICCAIE 2010 - 2010 Int. Conf. Comput. Appl. Ind. Electron.*, no. Iccae, pp. 511–515, 2010, doi: 10.1109/ICCAIE.2010.5735134.

7] M. Al-Dhaifallah, “Heat Exchanger Control Using Fuzzy Fractional-Order PID,” *16th Int. Multi-Conference Syst. Signals Devices, SSD 2019*, pp. 73–77, 2019, doi: 10.1109/SSD.2019.8893268.

8] Ogata, Katsuhiko. *Modern Control Engineering, 4th edition*. New Jersey : Prentice Hall, 2002.

9] B. Wulandari, “Pengantar Sistem Kendali,” 2014.

10] Universitas Pattimura, “Sistem Pengendalian,” *eLearning Universitas Pattimura*, 2016.

11] A. Putri, “Pengertian Sistem Kontrol / Sistem Kendali,” *PT. Dipta Kencana Teknologi*, 2016.

12] A. Triwiyatno, “Konsep Umum Sistem Kontrol,” *Aris Triwiyatno*, p. 2, 2017.

13] K. Ogata, “Teknik kontrol otomatis,” vol. 2, p. 381537, 1997.

14] M. Ali, “Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol Pid Dengan Software Matlab,” *J.*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



*Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, p. 2, 2004.

[15] Suyadhi, "Teknik Kendali PID," *Robotics University*, 2015.

[16] Triyono, "Aplikasi Kontrol Pid Dengan Software Matlab," *Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Tangerang*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

[17] M. I. H. Ariyanto, Ir.Syamsul Arifin, MT, "Perancangan Sistem Pengendalian Level Deerator Menggunakan Fuzzy Gain Schedulling-PI di PT PETrowidada," *ITS Institutional Repos.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2012.

[18] W. Waluyo, A. Fitriansyah, and S. Syahrial, "Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 1, no. 2, p. 79, 2013, doi: 10.26760/elkomika.v1i2.79.

[19] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. Bali, Indonesia: Jayapangus Press, 2018.

[20] P. M. Prihatini, "Metode Ketidakpastian Dan Kesamaran Dalam Sistem Pakar," no. November 2012, 2015.

[21] M. Hellmann, "Fuzzy Logic Introduction," no. 1, 1965.

[22] N. Oktavia, Marimin, and Herdiyeni, "Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pembentukan Tipe Data Fuzzy dan Querynya pada Sistem Basis Data," *Dep. Ilmu Komput. - FMIPA - Inst. Pertan. Bogor*, 2004.

[23] S. Kusumadewi, *Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Edisi Pert. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2002.

[24] Martha Oktriani, "Aplikasi Pendukung Keputusan Dengan Menggunakan Logika Fuzzy," *Fak. Teknol. Inf. Univ. Kristen Satya Wacana Salatiga*, 2008.

[25] Sumantri, E. Rudiawan, and W. Wibowo, "Plant Integrity Monitoring Menggunakan Ultrasonic Dengan Metode Fuzzy Decision Support Berbasis Wireless," *J. Integr.*, vol. no. 1, pp. 1–11, 2015.

[26] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.

[27] H. Wibawanto, "Pengendali Berbasis Logika Kabur," *Elektro Indonesia*

[28] D. ana ratna Wati, *Sistem Kendali Cerdas*, 1st ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2011.

[29] Sutikno, "Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

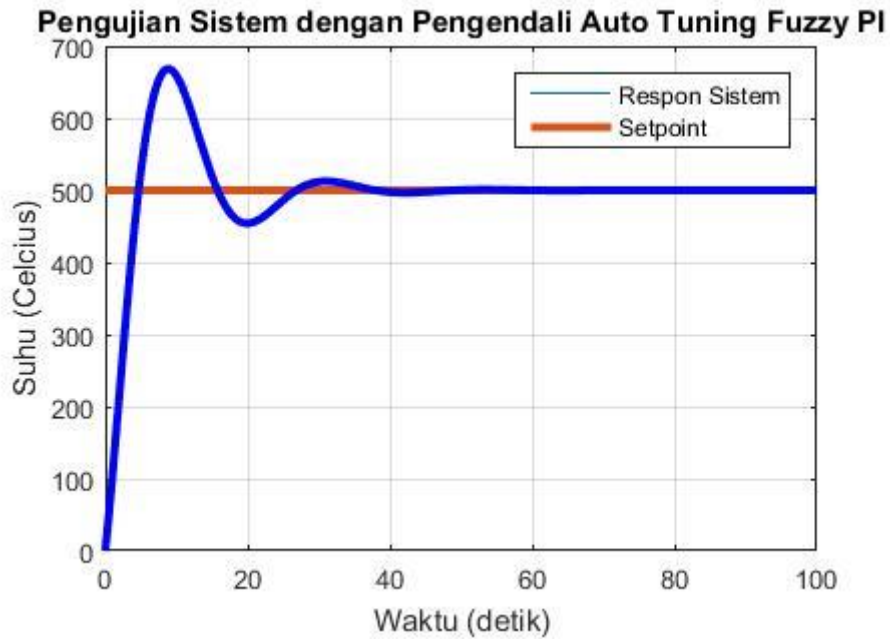


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

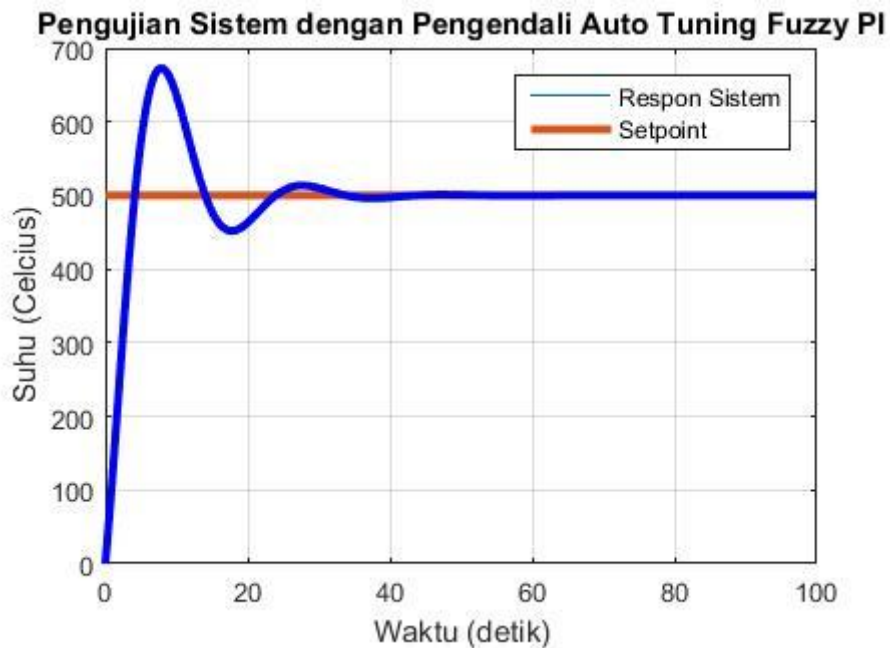
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN

1. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 8$  dan  $K_i = 4$



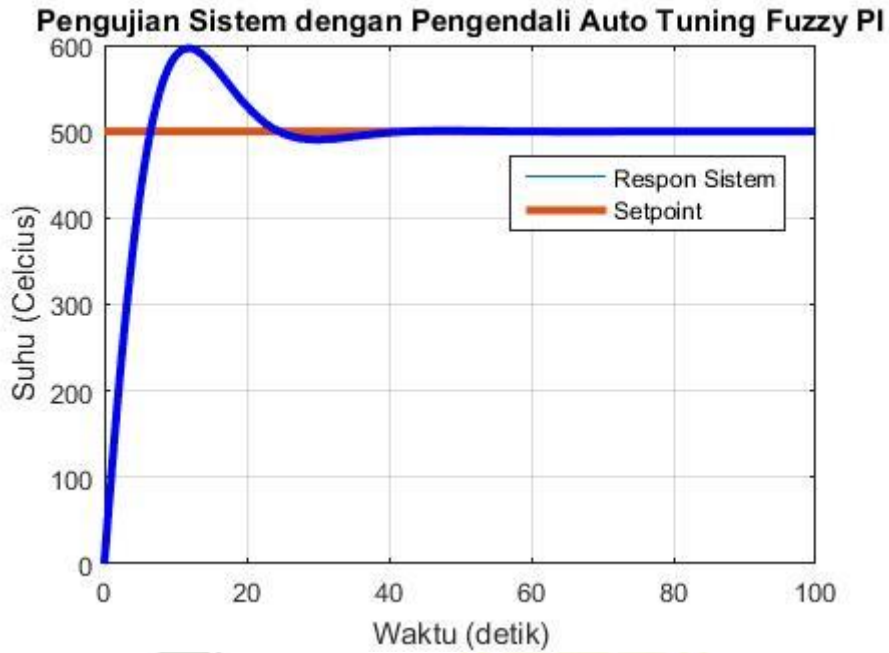
2. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 9$  dan  $K_i = 5$



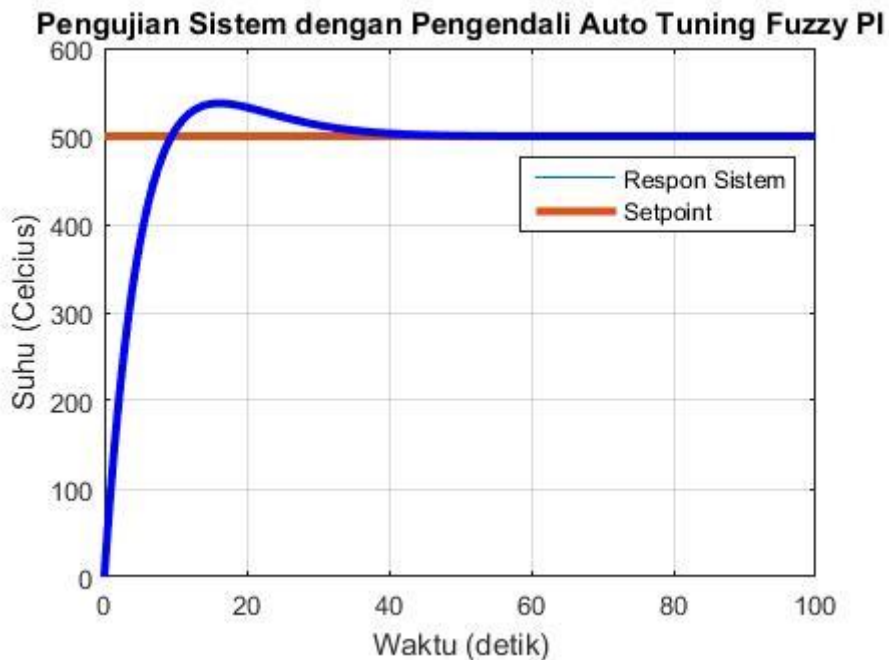
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerbitan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 9$  dan  $K_i = 2$



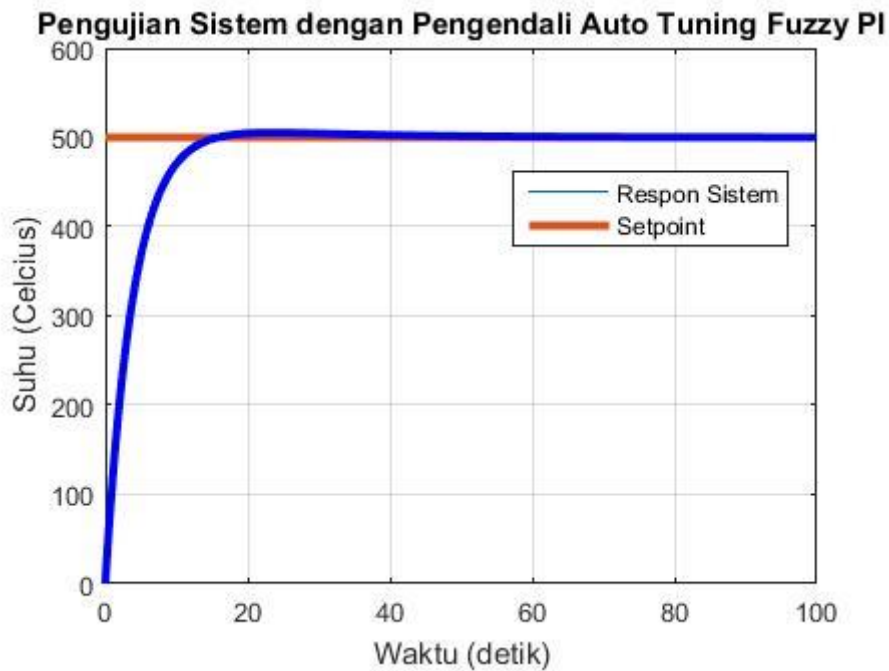
4. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 10$  dan  $K_i = 1$



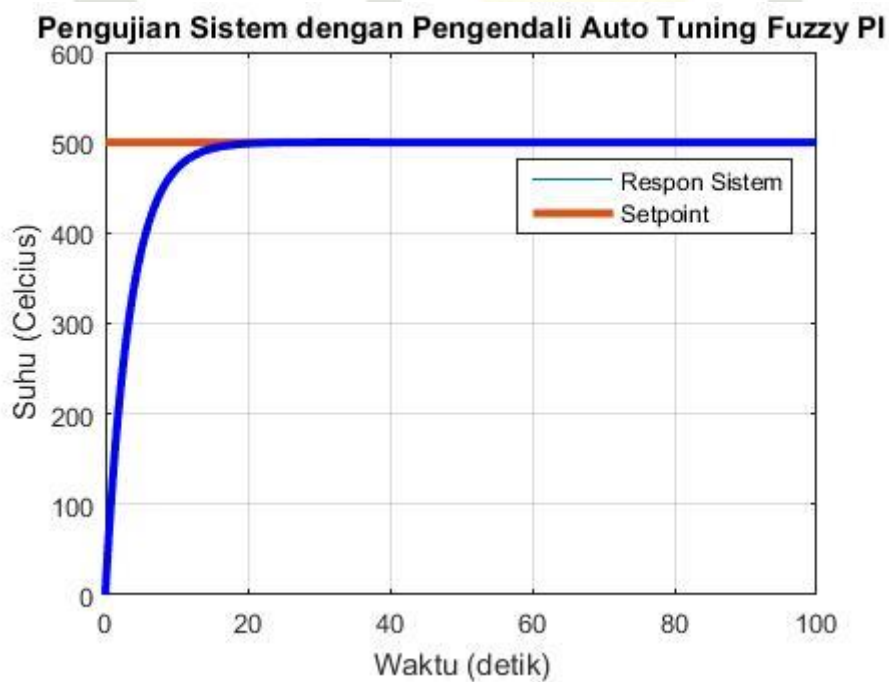
5. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 11$  dan  $K_i = 0,6$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



6. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 12$  dan  $K_i = 0,57$



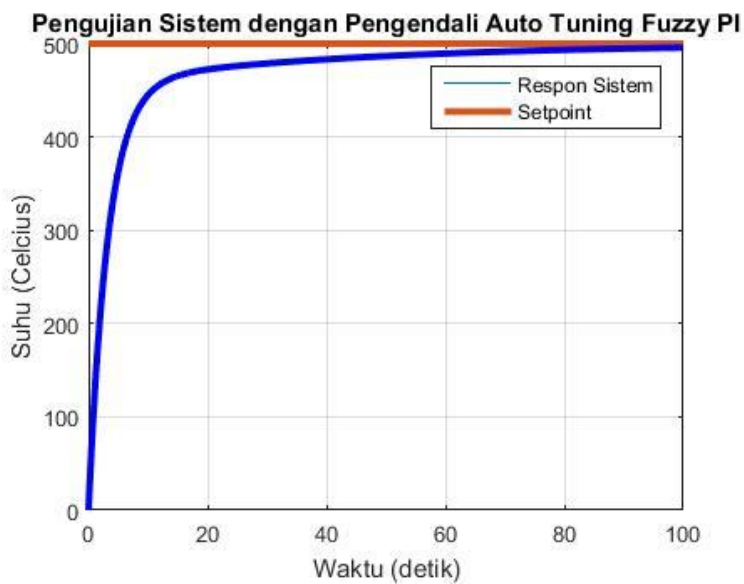
7. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 12$  dan  $K_i = 0,4$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

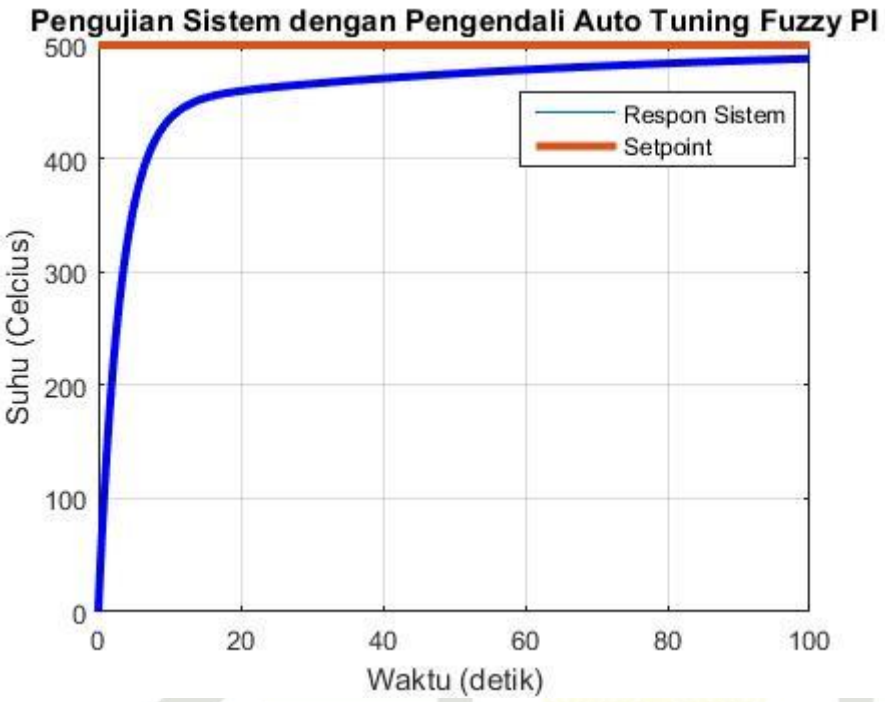


8. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 12$  dan  $K_i = 0,3$





9. Hasil Simulasi *Auto Tuning Fuzzy PI* dengan nilai  $K_p = 12$  dan  $K_i = 0,2$

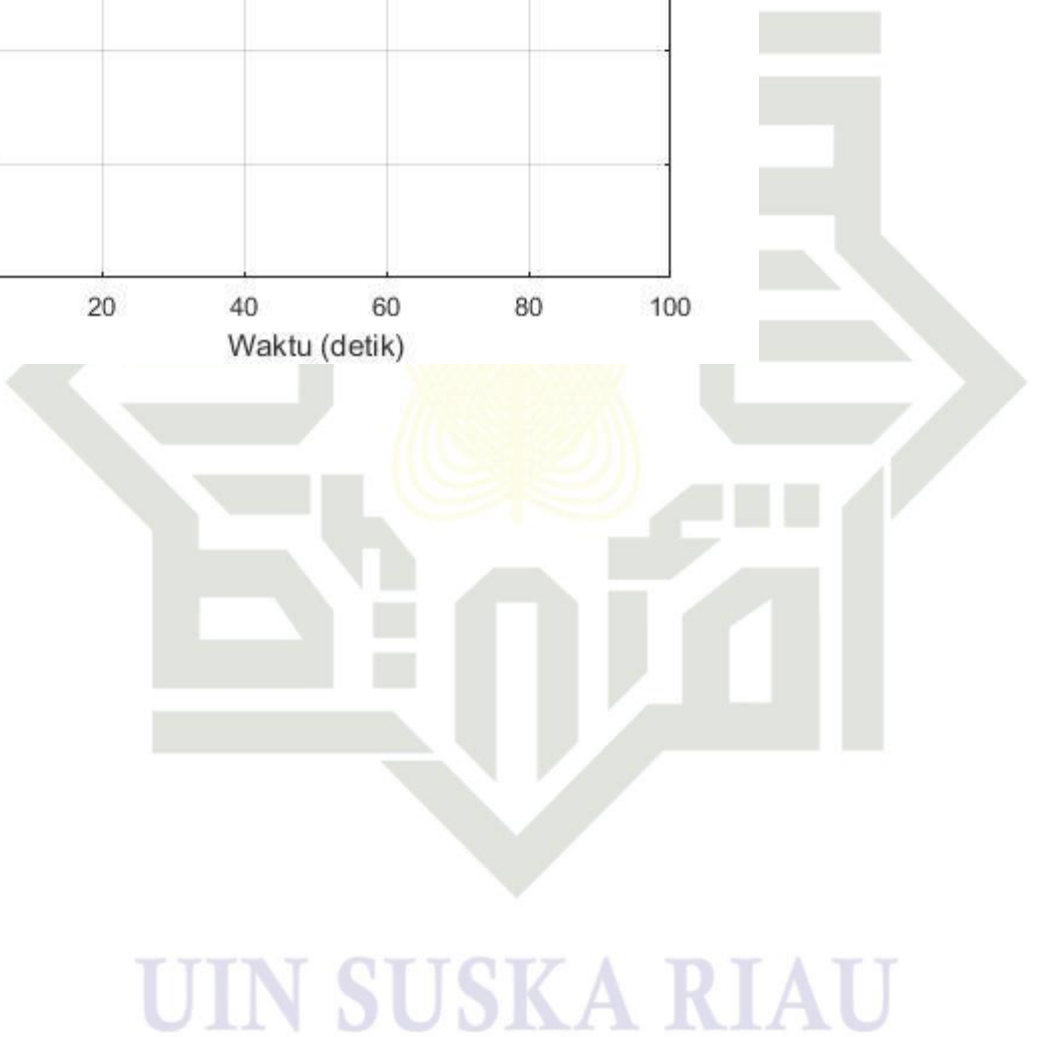


© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



**Juni Anggara**, lahir di Rantau Perapat, 20 Juni 1996 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Sugianto dan Risma Fatimah yang beralamat di Jl. Pelita, Balam Km 22, Kel. Bangko Lestari Kec. Bangko Pusako Kab. Rokan Hilir Riau

*Email* : juni.anggara@students.uin-suska.ac.id

HP : 082384529485

Pengalaman pendidikan yang dilalui dari SD Negeri 010 Bangko Pusako pada tahun 2002-2008, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 1 Rambah Hilir pada tahun 2008-2011, Setelah itu dilanjutkan dengan pendidikan SMK Nusantara Rokan Hilir pada tahun 2011-2014. Setelah lulus SMK penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dengan mengambil bidang kajian Elektronika dan Instrumentasi pada tahun 2014. Diangkat menjadi Wakil Presiden III Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro UIN Suska Riau periode tahun 2015/2016, lalu melanjutkan kejenjang organisasi Forum Komunikasi Himpunan Mahasiswa Elektro Indonesia sebagai Sekretaris Jendral periode 2017-2019. Penulis menyelesaikan masa studi pada tahun 2022 dengan penelitian Tugas Akhir berjudul “**Desain Kendali Auto Tuning Fuzzy PI Untuk Pengendalian Temperatur Pada Sistem Heat Exchanger**”

Hak Cipta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.