



**DESAIN KENDALI *FUZZY* SUGENO *TUNING* KP KI UNTUK
PENGENDALIAN *LEVEL* PADA SISTEM *CONTINUOUS*
STIRRED TANK REACTOR (CSTR)**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program
Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

FARELL AGUSTINO PUTRA

11850514908

**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 *FUZZY SUGENO TUNING* KP KI UNTUK
PENGENDALIAN *LEVEL* PADA SISTEM *CONTINUOUS*
*STIRRED TANK REACTOR (CSTR)***

TUGAS AKHIR

Oleh :

FARELL AGUSTINO PUTRA

11850514908

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada 19 Juli 2022

Pembimbing 1



Putut Son Maria, S.ST., MT

NIK. 130508079

Pembimbing 2



Halim Mudia, S.T., MT

NIK. 130517053

Ketua Program Studi

Teknik Elektro



Dr. Zulfatri Aini, S.T.,M.T

NIP. 19721021 200604 2 001



LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN KENDALI *FUZZY* SUGENO *TUNING* KP KI UNTUK
PENGENDALIAN *LEVEL* PADA SISTEM *CONTINUOUS*
STIRRED TANK REACTOR (CSTR)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

FARELL AGUSTINO PUTRA

11850514908

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

Pekanbaru, 19 Juli 2022

Mengesahkan,



Dekan

Dr. Hartono, M.Pd

NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Dr. Zulfatri Aini, S.T., MT

NIP. 19721021 200604 2 001

DEWAN PENGUJI:

Ketua : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
Sekretaris : Putut Son Maria, S.ST., MT
Anggota : Halim Mudia, S.T., MT
Anggota : Aulia Ullah, S.T., M.Eng.
Anggota : Ahmad Faizal, ST., MT

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.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Farell Agustino Putra
NIM : 11850514908
Tempat/Tanggal Lahir: Dumai, 24 Agustus 2000
Fakultas : Sains dan Teknologi
Prodi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **Desain Kendali *Fuzzy Sugeno Tuning* Kp Ki Untuk Pengendalian *Level* Pada Sistem *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)**

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan Skripsi dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulisan ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu skripsi saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan skripsi saya tersebut, maka saya bersedia men犯罪 sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

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

Pekanbaru 28 Juli 2022

Yang membuat pernyataan



ARELL AGUSTINO PUTRA

NIM. 11850514908

LEMBAR 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 diperkenankan 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 membuat 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 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Farell Agustino Putra

NIM. 11850514908

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 PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barangsiapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.

(HR. Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah...

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-nya tak terbilang. Engkau dzat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan shalawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.

(QS: Al-Mujadilah 11)

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ke tempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ke tempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."

(QS: Al-Isra 80)

/ Farell Agustino Putra |

| 19 Juli 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.

DESAIN KENDALI *FUZZY SUGENO TUNING KP KI* UNTUK
PENGENDALIAN *LEVEL* PADA SISTEM *CONTINUOUS*
STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

FARELL AGUSTINO PUTRA

NIM : 11850514908

Tanggal Sidang : 19 Juli 2022

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Umumnya proses pencampuran dalam suatu industri masih menggunakan tenaga manusia, sehingga ketika jumlah bahan yang dicampurkan dalam jumlah banyak akan memakan waktu yang lama, sehingga diperlukan sistem yang mampu meminimalisir hal tersebut, sistem tersebut adalah CSTR. CSTR merupakan tangki pengaduk yang digunakan untuk mencampur dua fluida atau lebih. Ketinggian fluida pada tangki merupakan hal yang penting untuk dikendalikan karena jika *level* mengalami penurunan maka akan diikuti dengan penurunan variabel lain pada reaktor yang menyebabkan ketidakstabilan sistem. Untuk menjaga kestabilan tersebut diperlukan sebuah kendali. Pada penelitian ini, digunakan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* dengan cara penalaan terhadap nilai *Kp* dan *Ki*. Tolak ukur keberhasilan kendali tersebut ketika mampu melakukan *tuning* secara berulang terhadap perubahan setpoint. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa respon sistem mampu mencapai setpoint yang diberikan dan mengatasi *error steady state*, didapat nilai parameter seperti $t_r=0.73$ detik, $t_s=0.88$ detik, $t_d=0.31$ detik dan $ess=0$ meter.

kata kunci : CSTR, *level*, *Tuning Kp Ki Fuzzy Sugeno*

***KP KI FUZZY CONTROL DESIGN FOR CONTINUOUS
SYSTEM LEVEL CONTROL STIRRED
TANK REACTOR (CSTR)***

FARELL AGUSTINO PUTRA
Student Number : 11850514908

Date of Final Exam : July 19th 2022

*Department of Electrical Engineering
Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University, Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Panam, Pekanbaru*

ABSTRACT

Generally, the mixing process in an industry still uses human power, so when the amount of ingredients mixed in large quantities will take a long time, so a system that is able to minimize this is needed, the system is CSTR. CSTR is a stirring tank used to mix two or more fluids. The fluid level in the tank is an important thing to control because if the level decreases it will be followed by a decrease in other variables in the reactor which causes system instability. To maintain this stability, a control is needed. In this study, the Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki control was used by tuning the Kp and Ki values. The benchmark for the success of the control is when it is able to perform repeated tuning of setpoint changes. The results of this study indicate that the system response is able to reach the given setpoint and overcome the steady state error, obtained parameter values such as $t_r = 0.73$ seconds, $t_s = 0.88$ seconds, $t_d = 0.31$ seconds and $ess = 0$ meters.

keyword: *cstr, level, tuning kp ki, fuzzy sugeno*

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.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kita semua kenikmatan dan rezeki yang berlimpah sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam penulis ucapkan buat baginda Rasulullah SAW. atas izin Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Desain Kendali Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki Untuk Pengendalian Level Pada Sistem Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)**”.

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

Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Papa, Mama, Kakak dan Keluarga yang telah memberikan semangat, dukungan, dan do'a kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Khairunnas, M.Ag 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, ST, MT selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Sutoyo, ST., MT selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Putut Son Maria, S.ST., MT dan Bapak Halim Mudia, ST., MT selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir dan 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

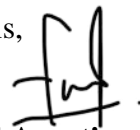
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 Putut Son Maria, S.ST., MT selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir 1.
8. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng sebagai penguji 1, Bapak Ahmad Faizal S.T., M.T sebagai penguji 2 yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Bapak Hasdi Radiles, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik selama penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
10. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Al Tama Aqiribi selaku rekan perjuangan yang membantu dalam suka maupun duka untuk penulis dalam menulis Tugas Akhir ini.
12. Rekan-rekan Kumpulan Tugas yang saling memberikan masukan serta tempat bertukar pikiran untuk penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.
13. Kakanda dan Ayunda (Rayhan Pratama Asri S.T, Erryni Chantika Permata S.T, Swastika Pusparani S.T, Juliesty Huswina Nasution S.T) yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan dorongan serta motivasi kepada penulis untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.
14. Teman-Teman Angkatan 2018 yang memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman yang tidak bisa diucapkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi, dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dari penulis sendiri. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun agar kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 19 Juli 2022

Penulis,



Farell Agustino Putra

NIM.11850514908



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS.....	xvi
DAFTAR LAMBANG.....	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	I-2
1.1 Latar Belakang	I-2
1.2 Rumusan Masalah.....	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Masalah	I-5
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori	II-2
2.2.1 <i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>	II-2
2.2.2 Model Matematis Pengendalian <i>Level</i> pada CSTR.....	II-2
2.3 Identifikasi Respon Transient	II-5
2.4 Sistem Kendali	II-6
2.4.1 Pengendali <i>Proportional Integral (PI)</i>	II-7
2.5 Logika <i>Fuzzy</i>	II-8

<p>1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:</p> <p>a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.</p> <p>b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.</p> <p>2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.</p>	<p>2.5.1 Himpunan <i>Fuzzy</i>..... II-9</p> <p>2.5.2 Fuzzifikasi II-10</p> <p>2.5.3 Aturan <i>Fuzzy</i> II-10</p> <p>2.5.4 Inferensi <i>Fuzzy</i> II-10</p> <p>2.5.5 Defuzzifikasi II-11</p> <p>2.6 Penalaan <i>Fuzzy</i> Metode Sugeno II-11</p> <p>2.7 <i>PI Tuning</i> Logika <i>Fuzzy</i> II-12</p> <p>2.8 Metode <i>Heuristic</i> II-12</p> <p>2.9 Matlab II-13</p> <p>BAB III METODE PENELITIAN..... III-1</p> <p>3.1 Proses Alur Penelitian..... III-1</p> <p>3.2 Tahapan Penelitian..... III-2</p> <p>3.3 Perubahan Pemodelan Matematis ke Fungsi Transfer..... III-3</p> <p>3.4 Verifikasi Pemodelan Matematis..... III-4</p> <p>3.5 Perancangan Pengendali III-5</p> <p> 3.5.1 Perancangan Pengendali <i>Tuning PI</i>..... III-6</p> <p> 3.5.2 Perancangan Kendali <i>Tuning PI</i> menggunakan <i>Fuzzy Sugeno</i> III-8</p> <p>3.6 Perancangan Kendali <i>Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki</i> dengan gangguan Sinyal Kendali III-11</p> <p>3.7 Skenario Penelitian III-12</p> <p>BAB IV HASIL DAN ANALISA IV-1</p> <p>4.1 Gambaran Hasil Pengujian IV-1</p> <p>4.2 Hasil dan Analisa <i>Level</i> Sistem CSTR secara <i>Open Loop</i>..... IV-1</p> <p>4.3 Hasil dan Analisa <i>Level</i> Sistem CSTR menggunakan Kendali <i>Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki</i>..... IV-4</p> <p>4.4 Analisa Sistem CSTR menggunakan Kendali <i>Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki</i> saat diberikan gangguan sebesar 6% IV-7</p>
--	--



4.5 Analisa Sistem CSTR menggunakan Kendali *Fuzzy Sugeno Tuning* Kp Ki saat diberikan gangguan sebesar 8%IV-7

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN V-9

5.1 Kesimpulan V-9

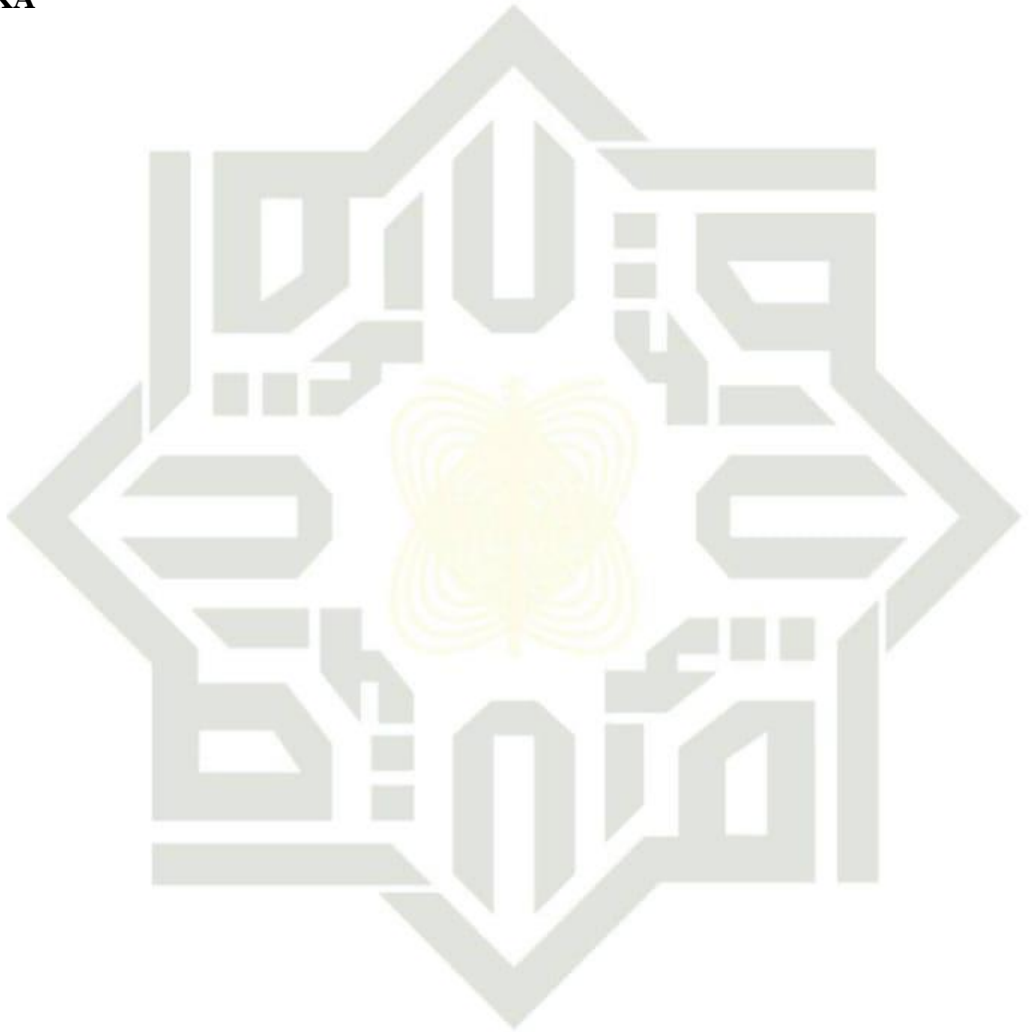
5.2 Saran V-9

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

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.



UIN SUSKA RIAU

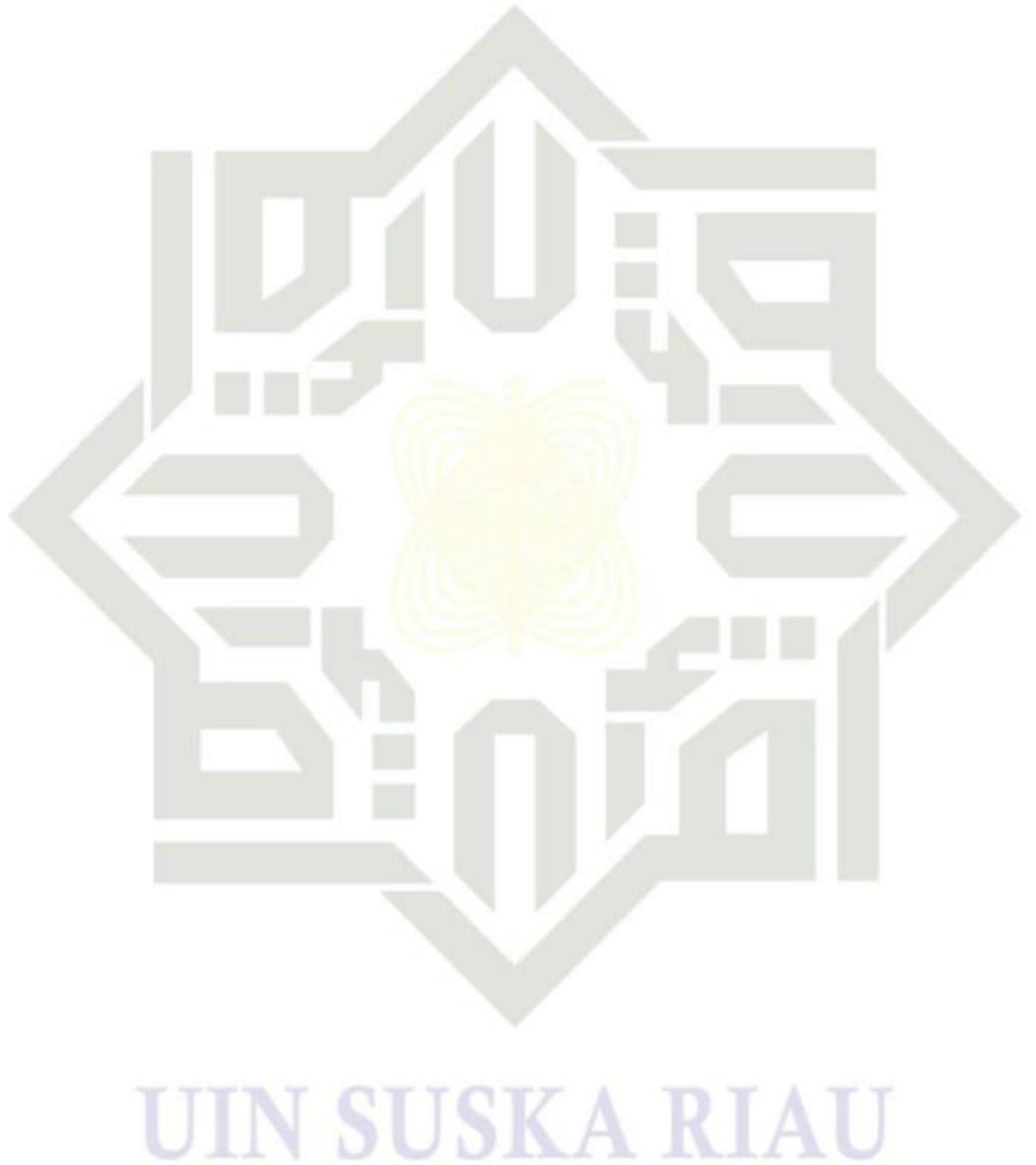
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skematik Sistem CSTR [13].....	II-2
Gambar 2.2 Skematik Sistem CSTR [13].....	II-3
Gambar 2.3 Pipa Keluaran CSTR [7].....	II-3
Gambar 2.4 Respon Sistem Orde Satu	II-5
Gambar 2.5 Blok diagram kendali PI [18]	II-7
Gambar 2.6 Fuzzifikasi Triangle	II-10
Gambar 2.7 Blok Diagram Kendali Tuning PI-Fuzzy Sugeno [23].....	II-12
Gambar 2.8 Tampilan Matlab.....	II-13
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	III-1
Gambar 3.2 Diagram Blok Open Loop CSTR	III-4
Gambar 3.3 Subsistem Blok CSTR	III-4
Gambar 3.4 Grafik Respon Sistem Secara Open Loop	III-5
Gambar 3.5 Rangkaian Simulink Tuning PI	III-6
Gambar 3.6 Blok PI Controller sebelum tune	III-7
Gambar 3.7 Grafik PID Tuner.....	III-7
Gambar 3.8 Blok PI controller sesudah tune.....	III-8
Gambar 3.9 Nilai Error dan Delta Error	III-8
Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error	III-9
Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan Output Kp Ki	III-10
Gambar 3.12 Rangkaian Simulink Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki	III-11
Gambar 3.13 Rangkaian kendali PI Fuzzy dengan gangguan sinyal kendali.....	III-12
Gambar 4.1 Respon Sistem Secara Open Loop.....	IV-1
Gambar 4.2 Respon Sistem menggunakan kendali Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki	IV-5
Gambar 4.3 Hasil Simulasi dengan Gangguan Sinyal Kendali 6% dari setpoint.....	IV-7
Gambar 4.4 Hasil Simulasi dengan Gangguan Sinyal Kendali 8% dari setpoint.....	IV-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.

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Parameter Proses CSTR [7].....	III-3
Tabel 3.2 Rule Base Fuzzy.....	III-11
Tabel 4.1 Penalaan Koefisien Kp dan Ki dengan kendali Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki.....	IV-4



Hak Cipta Dinding-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 RUMUS

	Halaman
1. Hukum Kesetaraan Volume.....	II-3
4. Rumus Perubahan Volume Tangki	II-3
6. Persamaan Differensial	II-3
8. Persamaan Kecepatan Aliran	II-4
9. Persamaan Tekanan Hidrostatik	II-4
15. Persamaan Matematis Level	II-4
2.16. Persamaan Himpunan Fuzzy	II-11
2.17. Persamaan Support Himpunan Fuzzy	II-11
2.18. Persamaan Crossover Himpunan Fuzzy	II-12
3.1. Persamaan Transfer Function Orde Satu	III-2
3.6. Persamaan Transformasi Laplace	III-4
3.7. Persamaan Fungsi Alih	III-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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



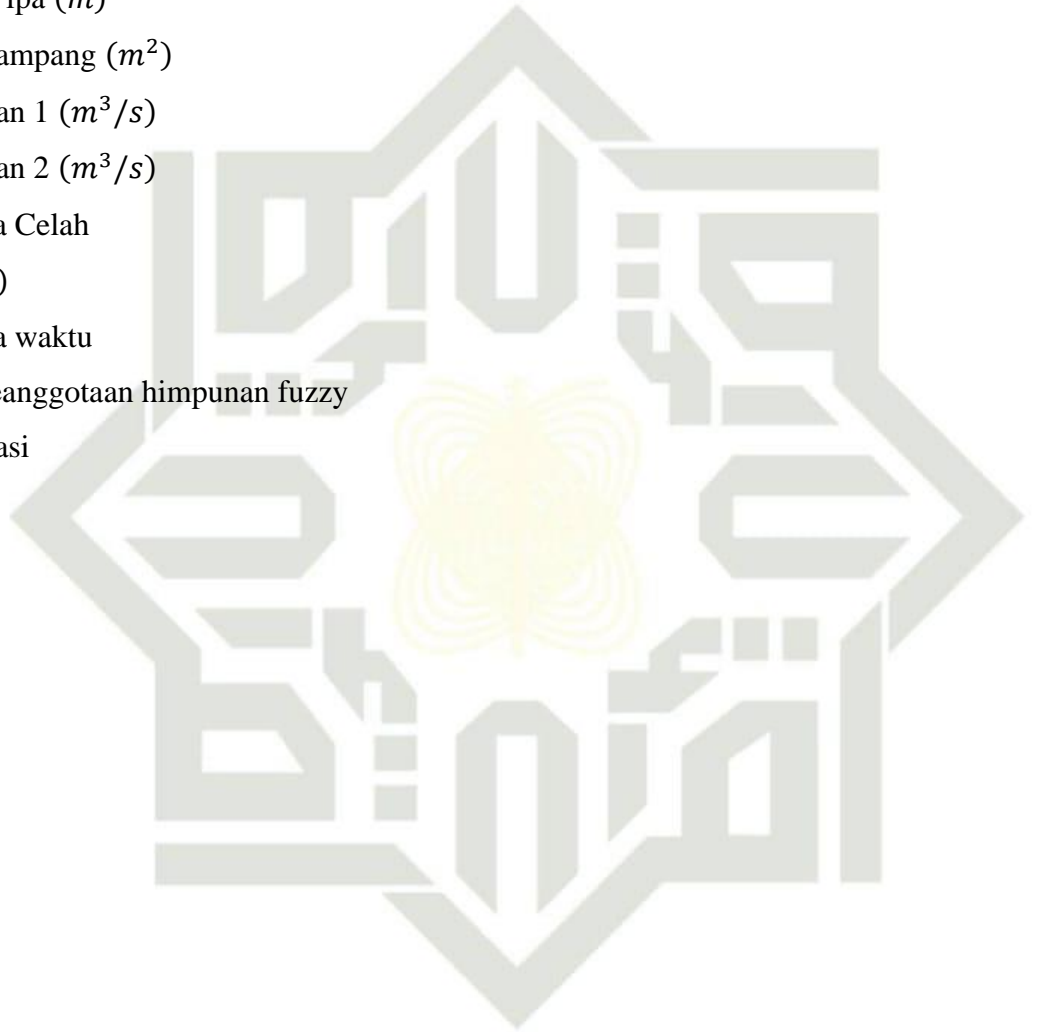
DAFTAR SINGKATAN

STR	=	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>
PI	=	<i>Proportional Integral</i>
PID	=	<i>Proportional Integral Derivative</i>
MRAAC	=	<i>Model Reference Adaptive Control</i>
SMC	=	<i>Sliding Mode Controller</i>
RSM	=	<i>Response Surface Methodology</i>
TS	=	<i>Time Settling</i>
RT	=	<i>Rise Time</i>
ESS	=	<i>Error Steady State</i>
TD	=	<i>Delay Time</i>
FIS	=	<i>Fuzzy Inference System</i>
Kp	=	<i>Konstanta Proportional</i>
Kd	=	<i>Konstanta Derivative</i>
Ki	=	<i>Konstanta Integral</i>
MATLAB	=	<i>Matrix Laboratory</i>
TF	=	<i>Transfer Function</i>
E	=	<i>Error</i>
DE	=	<i>Delta Error</i>

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR LAMBANG

Tekanan	(kg/ms^2)
Laju aliran	$(\frac{m^3}{s})$
Diameter pipa	(m)
Panjang Pipa	(m)
Luas Penampang	(m^2)
Laju Aliran 1	(m^3/s)
Laju Aliran 2	(m^3/s)
Konstanta Celah	
Level	(m)
Konstanta waktu	
Fungsi keanggotaan himpunan fuzzy	
Konsentrasi	



UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta D Lindungi Undang-Undang**
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 - 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

Pada era globalisasi ekonomi dan perdagangan bebas saat ini, perkembangan industri makanan dan minuman memiliki peran penting dalam perekonomian di Indonesia [1]. Makanan dan minuman merupakan hal yang sangat diperlukan manusia untuk proses pertumbuhan dan perkembangan. Pembuatan makanan dan minuman melewati beberapa proses salah satunya adalah proses pencampuran, proses pencampuran umumnya masih dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan tangan manusia. Namun, jika jumlah bahan yang dicampurkan semakin banyak, maka waktu yang diperlukan akan semakin lama sehingga perlu sebuah sistem dalam mengoptimalkan waktu pencampuran tersebut. Sistem yang digunakan pada industri yaitu *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*.

CSTR merupakan tangki pengaduk yang berbentuk silinder dan diameter tertentu, yang biasa digunakan untuk menggabungkan dua *fluida* atau lebih yang biasanya ditemui pada industri makanan, minuman dan berbagai industri lainnya [2] [3]. CSTR merupakan sistem non linier multivariabel, dikarenakan mempunyai beberapa variabel yang bisa dikendalikan seperti *level*, *temperature*, *pressure*, dan *flow* [3] [4]. *Level* pada tangki merupakan salah satu variabel yang penting untuk dikendalikan karena jika *fluida* pada *level* mengalami penurunan maka akan diikuti dengan penurunan konsentrasi dan temperatur pada reaktor yang menyebabkan ketidakstabilan sistem dan mempengaruhi perolehan produk yang diinginkan [5]. Karena aliran merupakan parameter yang berubah dengan cepat dan bernilai konstan. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan kendali yang tepat.

Dibutuhkan sebuah kendali otomatis untuk menyelesaikan masalah agar menghasilkan kualitas produk yang diinginkan. Pemilihan kendali yang baik bertujuan untuk menyelesaikan masalah yang muncul pada sistem, seperti perubahan *setpoint*, mengatasi gangguan, dan memperbaiki respon *plant* [3]. Metode kendali yang telah diimplementasikan pada model CSTR diantaranya adalah pengendali *Hybrid Sliding Mode Control (SMC)-PD*, *Hybrid Sliding Mode-PI*, dan *Model Reference Adaptive Control (MRAC) PD*.

Pada metode kendali menggunakan *Sliding Mode Control* dihasilkan respon *transient* yaitu *rise time*(t_r) = 0.832 detik, *settling time*(t_s) = 1.415 detik, *delay*

$time(td) = 0.702$ detik dan $error\ steady\ state(ess) = 0.0009$ meter. Setelah kendali SMC ditambahkan dengan PD memberikan hasil yang belum optimal karena $set\ point$ sebesar 1 m belum dapat dicapai dan masih memiliki $error\ steady\ state$ sebesar 0.095 meter [4].

Pada penelitian [6], kontroler jenis *hybrid* yang terdiri dari *sliding mode* dan PI memperlihatkan performansi yang baik dari pengendali *sliding mode* dibuktikan dengan ditambahkan kendali PI yang mampu menurunkan $error\ steady\ state$ dari 0.02 m menjadi 0.0056 m dari $setpoint$ sebesar 1 m.

Perancangan kendali MRAC-PD untuk pengendalian *level* sistem CSTR dengan $setpoint$ sebesar 1 meter. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan kendali mampu mencapai target tujuan yaitu meredam $error\ steady\ state$ dan osilasi pada sistem dengan respon *transient* sebesar $t_r = 2.88$ detik dan $t_s = 4.58$ detik yang masih bisa dipercepat lagi [7].

Dari studi literatur yang dijabarkan telah didapatkan kendali yang dapat mengatasi permasalahan pada sistem CSTR yaitu adanya $error\ steady\ state$ dengan respon *transient* yang masih bisa dipercepat lagi. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian menggunakan kendali *fuzzy sugeno tuning* Kp Ki, karena logika *fuzzy sugeno* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi dan menghasilkan hasil yang optimal [8] [9] [10]. Kontroler PI biasanya digunakan untuk pengendalian proses yang memiliki dinamika relatif cepat seperti aliran, tekanan, *level* [11]. Berdasarkan sebuah survei dikatakan bahwa hampir 80% kontroler PID digunakan pada industri menggunakan kontrol PI dalam operasinya. Kontroler PI banyak digunakan pada proses industri karena mampu mengatasi permasalahan yang terjadi seperti menghasilkan respon sistem yang optimal dan mengatasi $error\ steady\ state$ secara maksimal meskipun hanya menggunakan kontroler PI [11].

Kendali *tuning* PI menggunakan *fuzzy* merupakan kendali yang mempunyai parameter Kp dan Ki yang di *tuning* menggunakan logika *fuzzy*, untuk *input fuzzy* berupa *error* dan *delta error*, dan *output fuzzy* berupa nilai Kp dan Ki [11]. Kendali ini melakukan 2 kali *tuning*, pertama *tuning* untuk mendapatkan nilai konstanta P dan I, selanjutnya konstanta tersebut dituning menggunakan *fuzzy sugeno*. Logika *fuzzy* digunakan karena dapat mengatasi sistem non linier dan juga dapat bekerja sama dengan teknik kendali secara konvensional, serta desain yang sederhana dan mudah diterapkan [12] dan juga kendali *fuzzy* mampu beradaptasi dengan perubahan

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.

lingkungan atau *plant* [13]. yang tepat untuk diterapkan pada sistem CSTR karena mampu mengatasi perubahan parameter-parameter lingkungan.

Metode *tuning* ada beberapa jenis yaitu metode *heuristic*, metode *ziegler nichols*, dan metode *cohen-coon*. Dalam penelitian ini penulis menerapkan metode *heuristic*, yaitu metode pemecahan masalah berdasarkan eksplorasi dan coba-coba. Perancangan metode *heuristic* ini dicapai dengan menyesuaikan parameter dengan kinerja *plant* yang akan dikontrol. Metode *heuristic* merupakan suatu aturan atau metode yang baik untuk penalaan dibuktikan dalam penelitian yang membandingkan antara metode *heuristic* dengan *ziegler nichols* didapatkan bahwa metode *heuristic* menghasilkan koefisien yang lebih akurat dan lebih stabil jika dibandingkan dengan metode *ziegler nichols* [14].

Berdasarkan penjabaran di atas, pada penelitian ini penulis merancang kendali *Tuning PI* menggunakan *Fuzzy Logic Sugeno* dengan metode *heuristic* sebagai penalaan nilai K_p dan K_i . Berdasarkan hal tersebut penulis tertarik untuk mengimplementasikan “**Desain Kendali Fuzzy Sugeno Tuning K_p K_i Untuk Pengendalian Level Pada Sistem Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)**”

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana performa kendali pada sistem CSTR untuk pengendalian *level* saat ditambahkan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning K_p K_i* ?
2. Bagaimana menetapkan kombinasi konstanta P dan I yang paling baik untuk meminimalisir *rise time*(t_r), *settling time*(t_s), *delay time*(t_d), *ess*?
3. Bagaimana respon sistem saat diberikan gangguan sebesar 6% dan 8%?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan model *PI Fuzzy* yang dapat memberikan respon waktu yang optimal sebagai pengendali *level* CSTR.
2. Mengukur dan mengetahui perbandingan hasil penelitian ini terhadap hasil peneliti lain yang relevan.
3. Mengetahui apakah kendali mampu menstabilkan sistem saat diberikan gangguan.

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

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah pada penelitian ini adalah :

1. Pemodelan sistem CSTR berdasarkan penelitian [7].
2. Pengujian kinerja desain kendali dikerjakan dengan cara simulasi pada Matlab 2015a.
3. Variabel yang dikendalikan adalah *level* dan laju aliran dianggap konstan.
4. Pencapaian kinerja pengendali diukur berdasarkan respon waktu yang diestimasi dari grafik *output* sinyal pengendali.
5. Jenis *fuzzy* yang digunakan adalah *fuzzy* sugeno.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan wawasan tentang desain *Fuzzy* Sugeno dari sistem kontrol *Tuning* PI.
2. Sebagai bahan untuk menambah referensi tentang pengendali *Fuzzy* Sugeno *Tuning* Kp Ki.
3. Dapat digunakan sebagai panduan untuk menerapkan sistem kontrol dalam proses industri

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 II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penulis melakukan studi pustaka dalam penelitian Tugas Akhir ini untuk menemukan sumber-sumber yang sesuai untuk studi kasus yang akan diselesaikan. Referensi yang terkait dengan “Desain Kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* untuk Pengendalian *Level* pada Sistem *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*” dapat dilihat dari beberapa sumber yang terkait sebagai berikut :

Pada penelitian [4], dilakukan simulasi menggunakan kendali SMC dan menghasilkan respon *transient* seperti *rise time* 0.832 detik, *settling time* 1.415 detik, *delay time* 0.702 detik dan masih memiliki *ess* 0.00009 m. Setelah ditambahkan kendali PD menghasilkan respon *transient* seperti *rise time* 0.346 detik, *settling time* 0.59 detik, *delay time* 0.292 detik dan nilai *ess* menjadi sebesar 0.095 m.

Penelitian lain yaitu desain pengendali *hybrid PI* dan *sliding mode* pada proses CSTR. Kendali *hybrid PI sliding mode* memiliki performansi yang lebih baik dibanding kendali *sliding mode*. Sebelum di *hybrid* dengan kendali PI, kendali *sliding mode* menghasilkan *error steady state* sebesar 0.02 m dan setelah ditambahkan kendali PI *ess* turun menjadi 0.0056 m. Kendali *hybrid PI* memiliki waktu *transient* dua kali lebih cepat dari pengendali *sliding mode* [6].

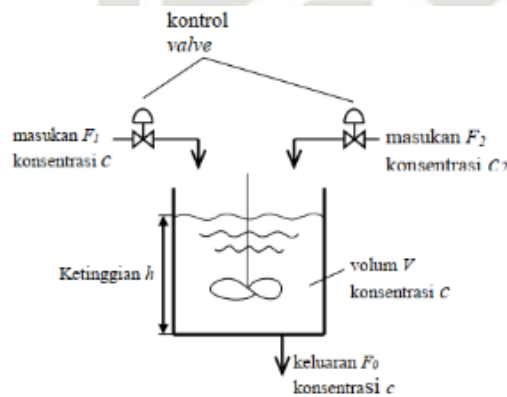
Penelitian yang menggunakan kendali *Model Reference Adaptive Control-PD* untuk pengendalian *level* pada sistem CSTR menghasilkan respon *transient* dengan *rise time* 1.64 detik, *settling time* 15.58 detik dan sistem memiliki osilasi sebesar 0.21 m. Setelah ditambahkan kendali PD, sistem sudah tidak memiliki osilasi dengan *rise time* 2.88 detik, *settling time* 4.58 detik [7].

Dari studi kasus yang sudah dilakukan, terdapat beberapa kendali yang sudah dianalisa tetapi masih terdapat *error steady state* dan respon *transien* yang masih bisa dipercepat lagi. Pada penelitian ini, penulis ingin melakukan penelitian dengan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki*, karena dapat mengatasi *error steady state(ess)* dan mendapatkan respon *transient* yang cepat dari penelitian sebelumnya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Continuous Stirred Tank Reactor

Reaktor berpengaduk secara berkelanjutan (CSTR) adalah salah satu bentuk reaktor yang sederhana untuk dibuat dan dipelajari. Reaktor memiliki pengaduk yang berputar secara berkelanjutan sehingga larutan dalam reaktor bisa diasumsikan tercampur dengan sempurna [15]. CSTR merupakan sistem nonlinier multivariabel, karena memiliki banyak variabel yang bisa dikontrol seperti *level*, *concentration*, *flow*, *pressure*, *temperature* [3] [4]. Ketinggian fluida merupakan variabel yang harus dikendalikan, karena sistem CSTR harus memompa aliran dan menyimpannya pada tangki penyimpanan. Karena apabila level fluida mengalami penurunan maka proses lainnya akan terganggu, sehingga menyebabkan kualitas produk yang dibutuhkan menurun, yang mengakibatkan kerugian yang signifikan bagi industri. [16]



Gambar 2.1 Skematik Sistem CSTR [15]

Gambar 2.1 merupakan skematik CSTR, yang mana ada dua *input* dengan laju aliran $F_1(t)$ dan $F_2(t)$ dan satu *output* yang terletak pada dasar reaktor. Laju aliran *output* ditandai oleh $F(t)$. Konsentrasi yang masuk antara masing-masing *input* akan berbeda, ditandai dengan c_1 dan c_2 . Dalam hal ini tangki akan mengaduk secara berkelanjutan dan larutan dalam tangki akan teraduk dengan sempurna, sehingga konsentrasi *output* sama dengan konsentrasi larutan dalam tangki yang ditandai dengan $c(t)$, aliran keluaran $F(t)$ tergantung pada tinggi tangki $h(t)$ [15].

2.2.2 Model Matematis Pengendalian Level pada CSTR

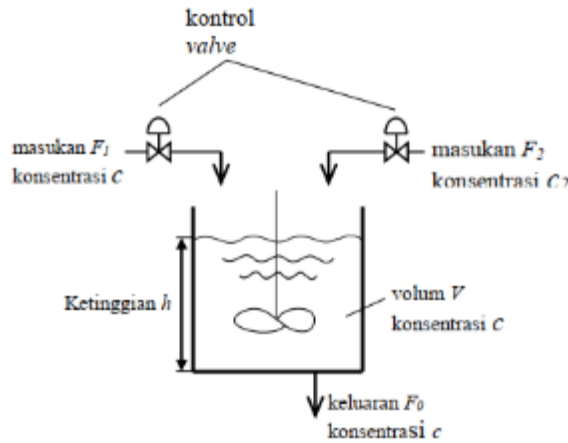
Pemodelan matematis adalah representasi abstrak dari masalah diluar matematika dalam bentuk simbol, persamaan, grafik. Oleh karena itu penggunaan pemodelan matematis akan memberikan kemudahan bagi siapa saja agar bisa menyelesaikan permasalahan tersebut [17].

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 2.2 Skematik Sistem CSTR [15]

Pemodelan matematis dari sistem dapat dituliskan dengan menggunakan hukum kesetaraan *volume* tangki dan asumsi bahwa tidak ada material yang keluar dalam bentuk uap. [3] [7]:

$$V_{in} - V_{out} = V_{dalam\ tangki} \quad (2.1)$$

$$(F_1 \Delta t + F_2 \Delta t) - F_0 \Delta t = \Delta V \quad (2.2)$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = F_1 + F_2 - F_0 \quad (2.3)$$

Volume dalam tangki dapat direpresentasikan sebagai produk dari luas permukaan tangki (*A*) dengan perubahan *level* (*H*) di dalam tangki, sehingga dapat ditulis :

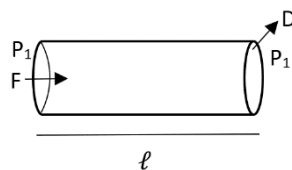
$$\Delta V = A \Delta H \quad (2.4)$$

Lalu substitusikan persamaan 2.4 ke persamaan 2.3 sehingga persamaan menjadi seperti berikut :

$$\frac{A \Delta H}{\Delta t} = F_1 + F_2 - F_0 \quad (2.5)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} (F_1 + F_2) - \frac{1}{A} F_0 \quad (2.6)$$

Kecepatan aliran keluaran F_0 tergantung dari ketinggian (*H*) permukaan dalam tangki, dan luas diameter pipa [7]. Nilai konstanta celah didapat dari ilustrasi gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pipa Keluaran CSTR [7]

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.

Berdasarkan ilustrasi gambar 2.3 dapat ditulis :

$$F_0 = \frac{Dk_t}{P\ell} \sqrt{P_1 - P_2} \quad (2.7)$$

Dimana $P_1 \gg P_2$

P = Tekanan (kg/ms^2)

F = Laju Aliran ($\frac{m^3}{s}$)

D = Diameter Pipa (m)

ℓ = Panjang Pipa (m)

$$F_0 = \frac{Dk_t}{P\ell} \sqrt{P_1} \quad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan tekanan hidrostatik, persamaan tekanan dapat ditulis sebagai berikut :

$$P = \rho g H \quad (2.9)$$

$$F_0 = \frac{Dk_t}{P\ell} \sqrt{\rho g H} \quad (2.10)$$

$$F_0 = \frac{Dk_t \sqrt{\rho g H}}{P\ell} \quad (2.11)$$

Dengan demikian, kecepatan aliran keluaran F_0 ditentukan oleh ketinggian permukaan dalam tangki (H), luas diameter pipa (D), dan konstanta celah sehingga,

$$\frac{Dk_t \sqrt{\rho g}}{P\ell} = kc \quad (2.12)$$

Sehingga persamaan 2.11 menjadi seperti dibawah ini :

$$F_0 = kc \sqrt{H} \quad (2.13)$$

Kemudian *input* (F_{in}) dari sistem CSTR, yang berisi dua *input* dengan variabel konsentrasi bernilai konstan adalah :

$$F_{in} = F_1 + F_2 \quad (2.14)$$

$$F_{in} = 0.15 + 0.6 = 0.75$$

Substitusikan persamaan 2.13 dan 2.14 ke persamaan 2.6 sehingga didapat persamaan matematis untuk pengendalian *level* sebagai berikut :

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} (F_1 + F_2) - \frac{kc}{A} \sqrt{H} \quad (2.15)$$

Atau,

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A} F_{in} - F_0$$

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
 Dimana :

A = Luas Penampang (m^2)

F_1 = Laju Aliran 1 (m^3/s)

F_2 = Laju Aliran 2 (m^3/s)

kc = Konstanta Celah

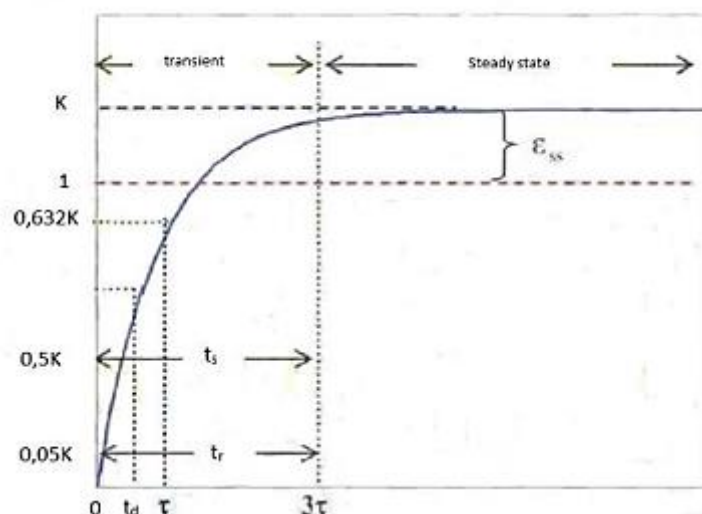
H = Level (m)

Dengan persamaan 2.14 dapat dilihat bahwa dinamika fungsi CSTR adalah linier.

2.3 Identifikasi Respon Transient

Variabel *level* pada sistem CSTR merupakan sistem orde satu. Metode digunakan dalam sistem ini adalah metode identifikasi statis. Metode ini akan menggunakan sinyal uji untuk memungkinkan sistem melakukan pendekatan grafis untuk menentukan respon *open loop* sistem. Dari hasil keluaran itulah karakteristik-karakteristik yang penting dalam sistem dapat kita ketahui.

Metode identifikasi statis merupakan metode observasi waktu respon. Metode ini berdasarkan pada langkah-langkah *input* secara grafis. Karakteristik waktu respon dari sistem orde satu dilihat pada respon sistem terhadap input sinyal. Karakteristik respon transien dan karakteristik respon kondisi tunak merupakan karakteristik respon waktu dari sistem orde satu [18]. Diagram respon sistem orde satu dengan $X_{ss} = 1$ dan $Y_{ss} = K$ ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Respon Sistem Orde Satu

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.

Respon transien terbagi atas :

1. Spesifikasi teoritis :

Konstanta waktu (τ) merupakan durasi dari waktu $t=0$ hingga respon mencapai 63.2% dari respon *steady state*. Konstanta waktu mewakili waktu respon sistem. Respon sistem akan dipercepat dengan konstanta waktu yang lebih kecil.

2. Spesifikasi praktis :

- a. Waktu Tunak (*settling time/ts*) adalah keluaran hasil waktu respon sistem ketika sudah stabil sebesar 5%.
- b. Waktu Naik (*rise time*) adalah keluaran waktu menunjukkan peningkatan respon sistem dari 5% menjadi 95% dari nilai respon keadaan tunak.
- c. Waktu Tunda (*delay time*) adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai 50% dari keadaan tunak. Besarnya faktor tunda diakibatkan oleh proses *sampling*.
- d. *Overshoot* maksimum adalah sebuah sistem yang nilai akhir responnya lebih besar dari *setpoint* yang ditentukan, yaitu memiliki nilai *overshoot* maksimal 100%.
- e. Waktu Puncak (*peak time*) adalah waktu dibutuhkan sistem untuk merespon dan mencapai *overshoot* pertama.
- f. Karakteristik respon dalam keadaan tunak (*steady state*) adalah sistem yang dihitung dari kesalahan saat dalam keadaan tunak.

$$Ess = Rss - Css$$

Keterangan :

Ess = *error steady state*

Rss = *input* nilai saat dalam keadaan tunak

Css = *output* nilai saat dalam keadaan tunak

2.4 Sistem Kendali

Sistem kendali adalah suatu perintah yang aktif dan dinamis. Untuk merancang sistem kendali memerlukan elemen-elemen yang akan disesuaikan. Diatur sesuai yang diinginkan perancang [19]. Sistem kendali merupakan gabungan dari beberapa komponen hidrolis, listrik, mekanik, parameter, variabel sosial, biologis, dan

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.

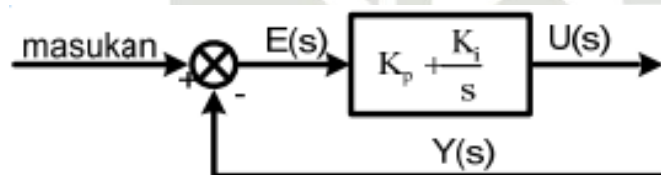
keuangan. Tujuan dari sistem kendali adalah mendapatkan fungsi yang berguna secara efisien dan akurat.

Istilah Dasar dalam Sistem Kendali sebagai berikut :

1. *Plant* merupakan sebuah instrumentasi yang relevan untuk komponen sistem yang dikendalikan, contohnya peralatan mekanik.
2. Proses merupakan objek yang dikendalikan seperti *plant*, contohnya pengendalian *level* pada sistem CSTR.
3. Variabel yang bisa dikendalikan dan variabel yang bisa dimanipulasi. variabel dikendalikan merupakan kondisi yang dikendalikan sedangkan variabel yang dimanipulasi merupakan keadaan ketika kontrol memodifikasi proses untuk mengubah nilai variabel yang akan dikontrol, seperti keluaran sistem.
4. Gangguan seringkali disebabkan oleh sistem itu sendiri atau gangguan eksternal.
5. Sistem merupakan sebuah komponen yang memiliki tujuan dan saling berkaitan untuk mengoptimalkan suatu sistem.

2.4.1 Pengendali *Proportional Integral* (PI)

Kendali PI adalah sebuah kombinasi antara kendali proporsional dan kendali integral [20]. Kendali PI sudah banyak digunakan dalam proses industri dan dapat menyelesaikan masalah yang terjadi [11].



Gambar 2.5 Blok diagram kendali PI [20]

Kendali *proportional* mampu mempercepat waktu naik dan menurunkan *error steady state*. Ketika kontrol *proportional* digunakan pada sistem akan menyebabkan

1. Meningkatkan maupun menurunkan *overshoot*.
2. mempercepat respon *transient*, seperti waktu naik(t_r) dan waktu tunak(t_s).
3. Menyelesaikan masalah *error steady state* (e_{ss}) pada sistem

Kendali *proportional* (P) berpotensi menyebabkan sistem *offset*. Sistem menjadi tidak stabil apabila nilai K_p diperbesar dan akan menimbulkan osilasi. Pada kendali sistem, kontrol P mampu bekerja sendiri tanpa kontrol lainnya seperti I dan D karena untuk kendali I dan D harus disatukan dengan kendali P.

Kendali *integral* bekerja dengan memberikan perbaikan pada *offset* yang dihasilkan oleh kendali *proportional*. Kontrol ini tidak bisa bekerja sendiri dan harus digabungkan dengan kendali *proportional*. Hasil kontrol memiliki dampak yang signifikan terhadap sinyal kesalahan. Efek yang ditimbulkan oleh kendali *integral* saat diterapkan pada sistem yaitu :

1. Menghilangkan *error steady state*.
2. Jika dibandingkan dengan kendali *proportional*, kendali ini memberikan respon yang lebih lambat pada sistem, meskipun demikian, dengan meningkatkan urutan sistem, kontrol ini dapat menghasilkan ketidakstabilan.

2.5 Logika Fuzzy

Lotfi A. Zadeh merancang logika *fuzzy* pada tahun 1965 sebagai sistem kendali cerdas. Fungsi *fuzzy* adalah untuk membedakan suatu himpunan dengan himpunan lainnya berdasarkan derajat keanggotaan dengan batas yang tidak pasti. Teori himpunan ini merupakan perkembangan dari teori himpunan tegas, yang didasarkan pada bagaimana orang mempersepsikan nilai yang tidak pasti [12]. Di dalam *fuzzy*, nilai keanggotaan tidak hanya 1 atau 0. Namun, itu juga menghasilkan hasil yang berkisar antara 0 dan 1 [12]. Dalam himpunan tegas, misalnya, hanya ada dua nilai untuk suhu ruangan : dingin adalah 0 dan panas adalah 1. Nilai keanggotaan antara 0 dan 1 dapat berupa dingin, hangat, atau normal dalam kumpulan *fuzzy*. Fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*. Defuzzifikasi adalah tahap ketiga dari desain kendali *fuzzy*. Variabel *fuzzy*, batas himpunan *fuzzy*, dan variabel *non-fuzzy* semuanya mempengaruhi hasil dari prosedur ini. [12].

Berikut ini adalah beberapa istilah yang diperlukan untuk memahami sistem *fuzzy* [12]:

1. Basis pengetahuan merupakan *IF-THEN* yang memiliki aturan *fuzzy*.
2. Fuzzifikasi merupakan metode yang menggunakan fungsi keanggotaan yang terkandung dalam basis pengetahuan *fuzzy* untuk mengubah *input* sistem menjadi variabel yang bernilai kalimat.

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. Proses transformasi *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan menerapkan IF-THEN yang ditentukan pada basis pengetahuan *fuzzy*.
4. Defuzzifikasi merupakan proses yang menggunakan fungsi keanggotaan yang serupa dengan yang digunakan fuzzifikasi, untuk mengubah keluaran *fuzzy* dari sistem inferensi *fuzzy* menjadi nilai tepat.

2.5.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu himpunan yang menyatakan keadaan maupun kondisi didalam suatu sistem dan dibuat sesuai dengan pernyataan yang digunakan untuk memperbesar jangkauan fungsi dari karakteristik yang telah ditentukan sampai fungsi tersebut menyangkut pada bilangan *real* dengan *range* (0,1) [21]. Dalam himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan selalu berada antara 0 dan 1. Terdapat 2 atribut dalam himpunan *fuzzy*, sebagai berikut :

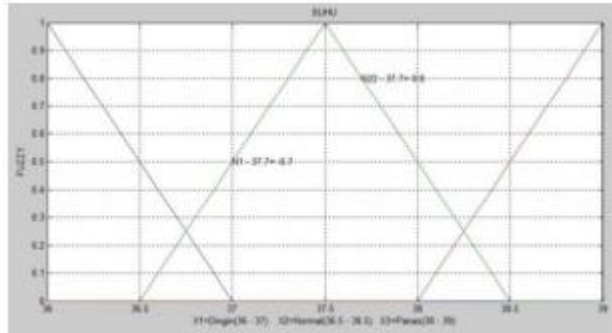
1. Linguistik merupakan penamaan sebuah kelompok yang mewakili situasi atau keadaan tertentu dengan menggunakan Bahasa alami, dingin, hangat, panas.
 2. Numeris merupakan sebuah nilai yang memperlihatkan besar kecilnya suatu variabel. seperti, 40,25,50
- Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam sistem *fuzzy*, sebagai berikut
1. Sistem *fuzzy* membahas variabel yang dikenal sebagai variabel *fuzzy*, seperti : kecepatan, tegangan, dan suhu.
 2. Himpunan *fuzzy* merupakan sebuah kondisi sistem *fuzzy* dalam himpunan.
 3. Semesta Pembicaraan merupakan seluruh nilai yang bisa dalam sistem *fuzzy* dengan kata semester pembicaraan adalah himpunan bilangan asli yang selalu naik (bertambah) secara konstan dari kiri ke kanan. Nilai semesta bisa bernilai positif maupun negatif.
 4. Domain merupakan nilai maksimum yang digunakan dalam himpunan *fuzzy*. Domainnya bisa positif dan negatif, seperti halnya semesta pembicaraan.
 5. Fungsi Keanggotaan merupakan pemetaan titik *input* yang ditentukan ke nilai keanggotaan yang rentangnya telah ditetapkan secara grafis oleh fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan bisa berupa segitiga, trapesium, dll.

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.

2.5.2 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses perubahan nilai tegas menjadi himpunan *fuzzy* dari variabel *input* dan *output*. Rentang nilai variabel *input* digabungkan menjadi beberapa himpunan *fuzzy* masing-masing dengan derajat keanggotaan yang berbeda. Rumus fungsi keanggotaan segitiga fuzzifikasi digunakan untuk menghitung derajat keanggotaan himpunan *fuzzy*. Gambar 2.6 merupakan contoh Fuzzifikasi.



Gambar 2.6 Fuzzifikasi Triangle

2.5.3 Aturan Fuzzy

Aturan *fuzzy* dapat dikatakan dalam bentuk IF-THEN yang berupa variabel *linguistic*. *Input* dan *output* dapat dihubungkan dengan himpunan aturan *fuzzy*. Ada 4 cara untuk mendapatkan *rule base* dari sistem *fuzzy* yaitu :

1. Berdasarkan pembelajaran, yaitu pendekatan ini dapat ditunjukkan dari fleksibilitas aturan *fuzzy* seperti, *self-organizing*
2. Berdasarkan model *fuzzy* pada sistem, yaitu deskripsi sifat dinamis *linguistic* dalam suatu proses.
3. Informasi yang diperoleh dari keahlian seorang profesional dan ilmu kontrol seorang insinyur.
4. Berdasarkan sebuah aksi operator kendali, yaitu dilakukannya metode sesuai dengan pengamatan manusia dalam mengendalikan atau menentukan *input output*.

2.5.4 Inferensi Fuzzy

Ada banyak komponen kunci dalam sistem inferensi *fuzzy*, termasuk data variabel *input* dan *output* dan data aturan. Beberapa fungsi, termasuk fuzzifikasi dan defuzzifikasi, diperlukan untuk memproses data masukan. Fungsi fuzzifikasi dibagi menjadi 2 bagian : pertama menentukan nilai tipe keanggotaan himpunan, dan yang lain menggunakan operator. Fungsi fuzzifikasi mengubah nilai aktual menjadi nilai

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.

fuzzy. Fungsi defuzzifikasi adalah fungsi yang mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai sebenarnya, yang merupakan nilai keluaran dari solusi permasalahan. [22].

2.5.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan prosedur yang digunakan untuk mendapatkan himpunan fuzzy dan nilai tegas, defuzzifikasi merupakan gambaran dari daerah aksi kendali *fuzzy* untuk mengartikan semester pembicaraan ke daerah non *fuzzy*. Aturan ini menggabungkan aturan *fuzzy IF-THEN* dengan persamaan berikut [23] :

$$RU(k) = \text{if } x_1 \text{ is } A_{1k} \text{ and ... and } x_n \text{ is } A_{nk} \text{ THEN } y \text{ is } B_k \quad (2.16)$$

Dimana A_{1k} dan B_k berturut-turut merupakan himpunan dari *fuzzy* didalam U_iR dan V adalah domain fisik, selanjutnya $i = 1,2 \dots n$ dan $x = (x_1, x_2, \dots x_n)$. Selanjutnya U dan V berturut turut merupakan variabel *input* dan *output (linguistic)* dari sistem *fuzzy*.

2.6 Penalaan Fuzzy Metode Sugeno

Metode Sugeno dikenalkan pada tahun 1985 oleh Takagi-Sugeno Kang. dalam penalaannya sistem fuzzy memiliki 3 metode seperti, metode mamdani, metode sugeno, metode tsukamoto. Dalam penalaannya metode sugeno dan metode mamdani hampir sama, bedanya pada *output* sistem yang tidak berupa himpunan fuzzy melainkan konstanta atau persamaan linier [22].

Ada 2 model *fuzzy* sugeno yaitu :

1. Metode Fuzzy Orde-Nol

Secara umum bentuk model *fuzzy* sugeno orde-nol adalah :

$$IF(x_1 \text{ is } A_1) o (x_2 \text{ is } A_2) o \dots o (x_N \text{ is } A_N) THEN z = k \quad (2.17)$$

Dimana, A_1 merupakan himpunan *fuzzy* ke-1 sebagai anteseden dan k adalah sebuah konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

2. Model Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Secara umum bentuk model fuzzy sugeno orde-satu adalah :

$$IF(x_1 \text{ is } A_1) o (x_2 \text{ is } A_2) o \dots o (x_N \text{ is } A_N) THEN z = p_1 * x_1 + \dots + p_1 * x_1 + q \quad (2.18)$$

Dimana, A_1 merupakan himpunan *fuzzy* ke-1 sebagai anteseden dan 1 merupakan suatu konstanta pada konsekuen.

Ada langkah-langkah yang harus dilakukan untuk menerapkan pendekatan sugeno berdasarkan model *fuzzy* yaitu :

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*

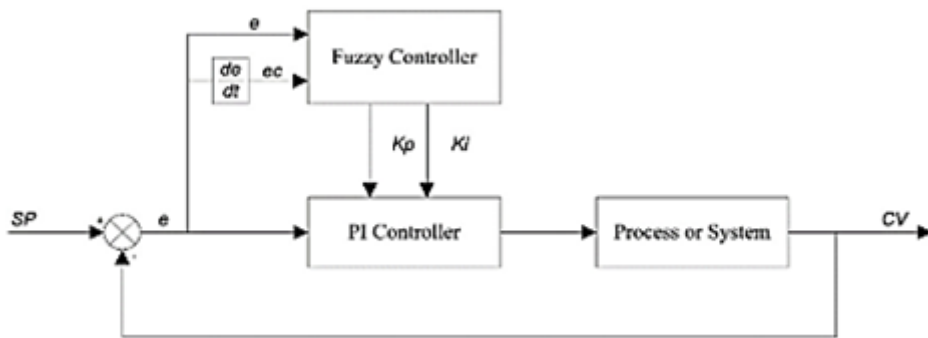
Pada tahap ini, variabel *input* sistem *fuzzy* dipindahkan ke himpunan *fuzzy*, yang menghasilkan setiap aturan dalam basis pengetahuan. Memilih nilai-nilai solid dan menentukan derajat pada tahap ini akan memastikan bahwa nilai-nilai ini menjadi anggota dari setiap himpunan *fuzzy* yang relevan.

2. Aplikasi fungsi implikasi

Akan ada hubungan *fuzzy* untuk setiap aturan basis pengetahuan *fuzzy*. Aturan untuk fungsi aplikasi mengambil bentuk umum berikut: *IF x is Then y is B*, dengan *x* dan *y* adalah sakelar dan *A* dan *B* adalah himpunan *fuzzy*. Proposisi yang mengikuti *IF* dikenal sebagai *antecedents*, sedangkan yang mengikuti *THEN* dikenal sebagai *consequences*.

2.7 PI Tuning Logika Fuzzy

Kontroler *Tuning PI* menggunakan *Fuzzy Sugeno* didasarkan pada struktur kontrol *PI* konvensional sebagai basisnya, dengan parameter kontrol *PI* awalnya disesuaikan menggunakan metode penyetelan konvensional, seperti metode *loop* tertutup Ziegler-Nichols [24]. Teknik *fuzzy sugeno* meliputi tiga fase, kemudian kontroler *fuzzy* mengontrol secara otomatis. Kontrol *fuzzy-PI* menggunakan struktur kontroler *fuzzy* yang sama dengan kontrol logika *fuzzy* yang terdiri atas fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, defuzzifikasi. Pada pembahasan logika *fuzzy* akan dijelaskan setiap komponen logika *fuzzy*.



Gambar 2.7 Blok Diagram Kendali *Tuning PI-Fuzzy Sugeno* [24]

2.8 Metode Heuristic

Metode *heuristic* merupakan sebuah proses penyesuaian nilai dengan coba-coba untuk mendapatkan hasil. Penggunaan metode *heuristic* mempunyai kelebihan

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 tekniknya yang sederhana dan hasil yang diperoleh dalam penalaan PID cukup baik dan memuaskan. [25].

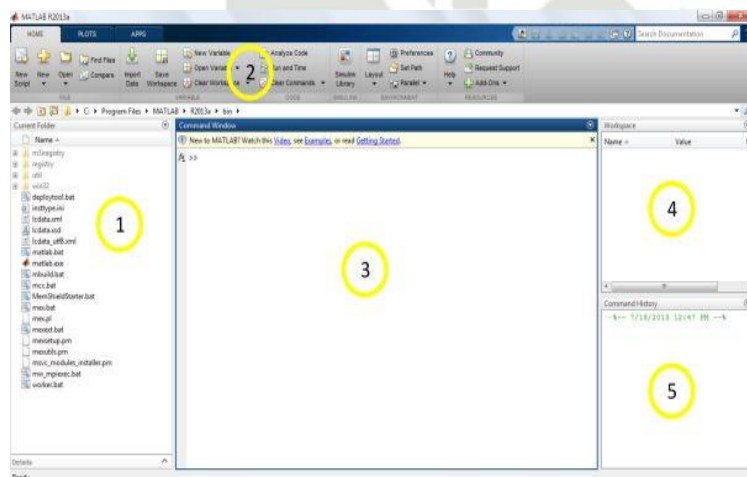
Nilai koefisien K_p dan K_i dicari ketika merangkai sistem kontrol PI. Pengujian dilakukan secara bertahap, dengan penyesuaian sebagai berikut [26] :

1. Koefisien P digunakan untuk menyetel pengaturan kontrol terlebih dahulu.
2. Lalu, ditambahkan koefisien I.

Persamaan nilai parameter dilihat dari karakteristik respon sistem yang diterima.

2.9 Matlab

MathWorks Inc. menciptakan bahasa pemrograman ini dengan menggabungkan proses pemrograman, komputasi, dan visualisasi dalam lingkungan yang ramah pengguna. Bahasa pemrograman ini memiliki banyak keunggulan, antara lain analisis dan eksplorasi data, pengembangan algoritma, pemodelan dan simulasi, visualisasi plot dalam 2D dan 3D, serta konstruksi aplikasi antarmuka grafis. MATLAB digunakan sebagai alat pembelajaran untuk pemrograman matematika, teknik, dan sains pada tingkat pengantar dan lanjutan di pendidikan tinggi, dan sebagai alat penelitian, pengembangan, dan analisis untuk barang-barang industri di dunia industri. [27].



Gambar 2.8 Tampilan Matlab

Berdasarkan Gambar 2.8 ada 5 bagian yang penting dalam MATLAB yaitu :

1. *Current Folder* (Folder Terkinis)

Dapat mengakses berbagai jenis file dalam bentuk direktori yang sedang digunakan.

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.

2. *Toolbar*

Merupakan tombol-tombol yang digunakan untuk fungsi perintah.

3. *Command Window* (Jendela Perintah)

Dapat menulis perintah menggunakan sintaks program. Perhitungan sederhana, panggilan fungsi, demo, program, dan perintah lainnya dapat ditulis. Prompt “>>” selalu digunakan di awal perintah.

4. *Workspace* (Jendela ruang kerja)

Untuk menyelidiki data yang dibuat atau diimpor dari file lain.

5. *Command History*

Merupakan sebuah rekaman perintah yang sebelumnya telah dilakukan.



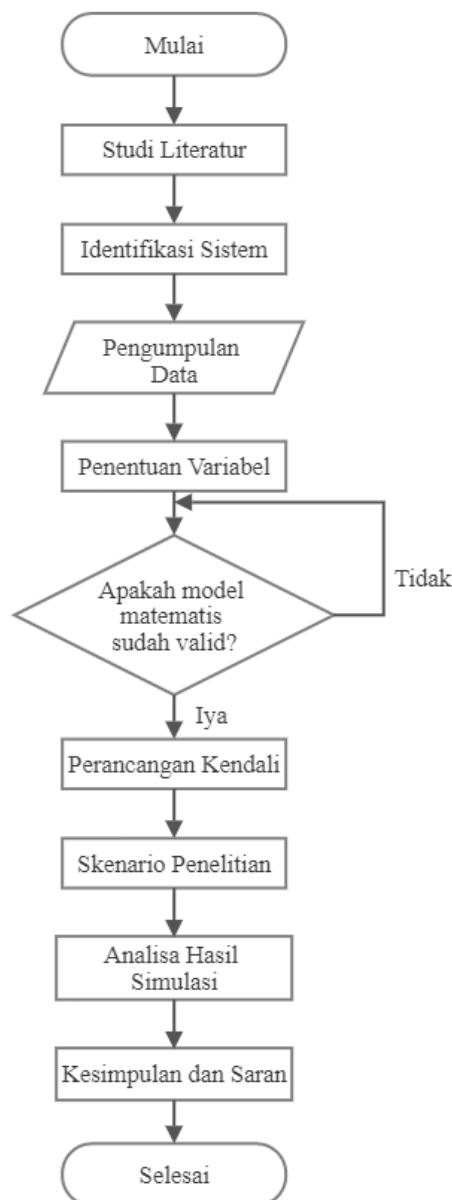
UIN SUSKA RIAU

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian

Pada penelitian ini terdiri atas pemilihan judul, rumusan masalah, dan tujuan penelitian, serta teknik pemodelan sistem dan desain kendali untuk mencapai hasil yang diinginkan. Sebuah simulasi digunakan dalam jenis penelitian ini. Alur penelitian digambarkan dalam bentuk *flowchart* sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

- 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

3.2 Tahapan Penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian, penelitian ini harus dilakukan untuk memenuhi tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Langkah pertama yaitu melakukan literatur review, yaitu membaca serta memahami materi yang berkaitan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku dan majalah mengenai CSTR dan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki*.

2. Identifikasi Sistem

Masalah yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah pengendalian *level* menggunakan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* untuk menghilangkan *error steady state* dan menghasilkan respon sistem yang optimal.

3. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan untuk mengidentifikasi *plant* yang diteliti dan dipelajari. Pemodelan matematis CSTR dalam bentuk *transfer function* :

$$TF : \frac{a}{bs + c} \tag{3.1}$$

4. Penentuan Variabel

Setelah nilai masing-masing variabel ditentukan, variabel tersebut disubstitusikan ke dalam sistem pemodelan matematika dalam bentuk persamaan fungsi transfer.

5. Verifikasi Pemodelan Matematis

Sebuah tahap evaluasi model matematis sistem, yang berupa fungsi alih dari sistem yang telah diubah kedalam bahasa pemrograman matlab *simulink* dikenal dengan verifikasi model matematis sistem. Apakah hasilnya akan sesuai dengan model *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*.

6. Perancangan Pengendali

Pada tahap ini peneliti merancang kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* agar respon *output* sistem mengikuti nilai masukan (*setpoint*) berdasarkan jurnal rujukan.

7. Analisa Hasil Pengujian

Pada tahap ini keluaran sistem dianalisa sebelum dan sesudah kendali dipasangkan, jika memenuhi kriteria penelitian ini berhasil, jika tidak, maka harus dievaluasi kembali.

8. Kesimpulan

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.

Penelitian dianggap berhasil ketika hasil yang dianalisa sesuai dengan tujuan penelitian, kemudian kesimpulan bisa dibuat serta ide untuk penelitian masa depan.

3.3 Perubahan Pemodelan Matematis ke Fungsi Transfer

Berdasarkan persamaan 2.15 model fungsi alih sistem level pada CSTR, dengan memasukan nilai-nilai parameter yang terdapat pada tabel 3.1. maka, didapatkan *transfer function* sebagai berikut :

Tabel 3.1 Parameter Proses CSTR [7]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Laju aliran 1	F_1	0.15	m^3/s
Laju aliran 2	F_2	0.6	m^3/s
Konsentrasi 1	C_1	1	$kmol^3/s$
Konsentrasi 2	C_2	1.3	$kmol^3/s$
Volume	V	1	m^3
Luas permukaan tangki	A	1	m^2
Konstanta celah (beban)	kc	0.5-1	-

Pemodelan matematis sistem CSTR untuk pengendalian *level* pada persamaan 2.15 adalah :

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A}(F_1 + F_2) - \frac{kc}{A}\sqrt{H} \quad (3.2)$$

selanjutnya melakukan linierisasi persamaan 2.15 menggunakan fungsi *Taylor's* dengan mempertimbangkan fungsi $f(H, F_{in})$ dari variabel H dan F_{in} dengan nilai $A = 1$, yaitu :

$$\frac{dH}{dt} = H(H, F_{in}) + \left(\frac{\partial H}{\partial F_{in}}\right)_{F_{in}=F_{in}} (F_{in}) - \left(\frac{\partial H}{\partial H}\right)_{H=H} (H) \quad (3.3)$$

$$\frac{dH}{dt} = H(H, F_{in}) + \frac{1}{A}(F_{in}(t)) - \left(\frac{K_c\sqrt{H}}{A}\right)(H(t)) \quad (3.4)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A}(F_{in})(t) - K_c\sqrt{H}(H)(t) \quad (3.4)$$

sehingga menghasilkan linierisasi pada titik 0.5 meter yaitu :

$$\frac{dH}{dt} = (F_{in})(t) - 0.5\sqrt{0.5}(H)(t) = (F_{in})(t) - 0.3535(H)(t) \quad (3.5)$$

kemudian persamaan 3.5 diubah ke transformasi laplace :

$$sH(s) = F_{in}(s) - 0.3535(H)(s)$$

- 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.

$$sH(s) + 0.3535(H)(s) = (F_{in})(s) \tag{3.6}$$

$$H(s)(s + 0.3535) = (F_{in})(s) \tag{3.6}$$

sehingga didapatkan fungsi alihnya :

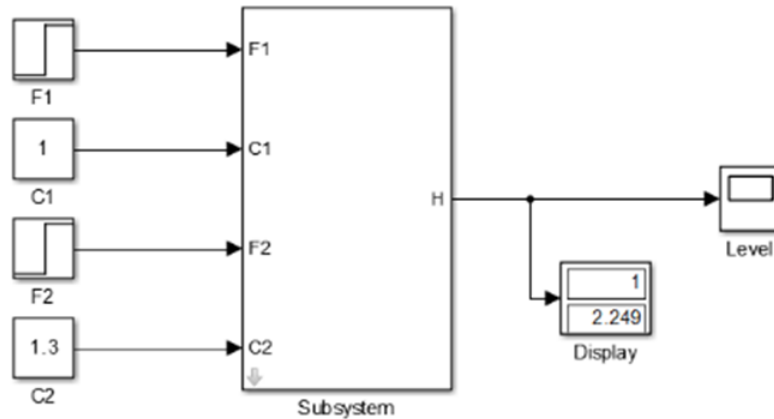
$$y(s) = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{H(s)}{F_{in}(s)}$$

$$y(s) = \frac{H(s)}{F_{in}(s)} = \frac{1}{s+0.3535} \tag{3.7}$$

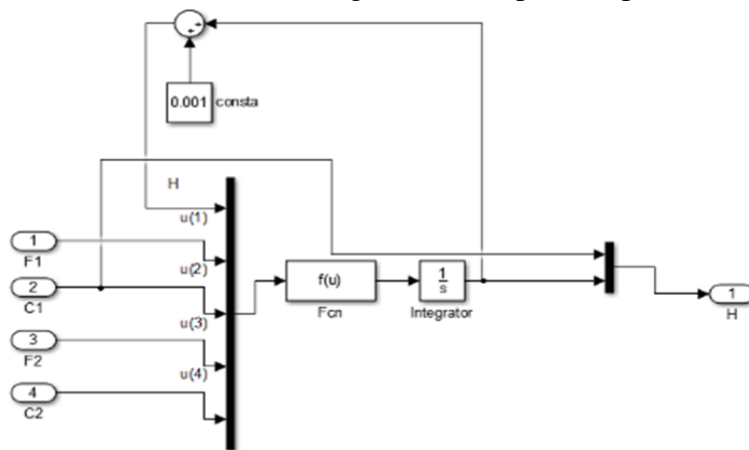
diperoleh *transfer function* sistem CSTR untuk pengendalian *level* sebagai berikut :

$$y(s) = \frac{1}{s+0.3535}$$

3.4 Verifikasi Pemodelan Matematis



Gambar 3.2 Diagram Blok Open Loop CSTR

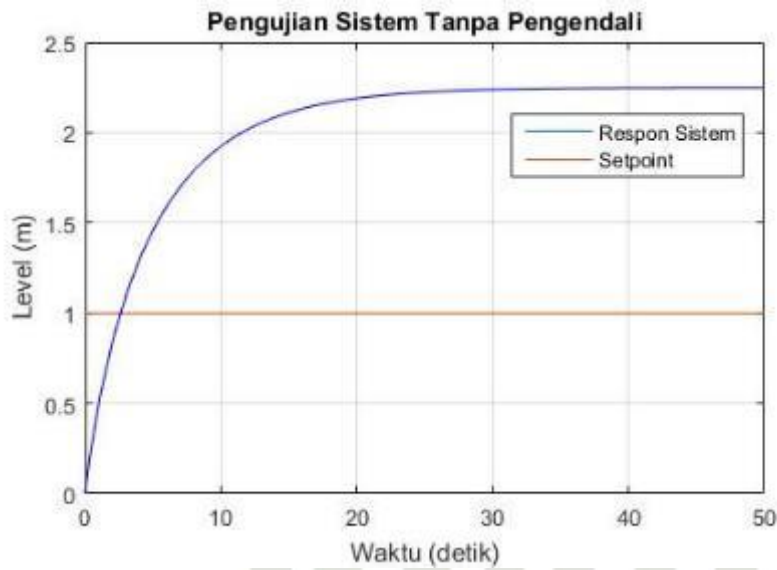


Gambar 3.3 Subsistem Blok CSTR

Setelah mendesain *simulink* sistem CSTR, sistem akan menampilkan grafik dan menghasilkan *output* secara *open loop* setelah dijalankan, seperti gambar dibawah :

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 3.4 Grafik Respon Sistem Secara Open Loop

Hasil simulasi sistem secara *open loop* tanpa pengendali seperti gambar diatas masih menunjukkan keluaran sistem yang stabil tapi masih belum mengikuti *setpoint* yang diberikan, sesuai dengan penelitian sebelumnya. Pemodelan sistem *level* CSTR akurat. Gambar 3.4 memperlihatkan masukan *setpoint* 1 m, tapi hasil respon *output* sistem masih melewati *setpoint* untuk mencapai *steady state* dan masih memiliki *error steady state*.

3.5 Perancangan Pengendali

Pada perancangan ini menggunakan kendali *Tuning PI* menggunakan *Fuzzy Sugeno* untuk pengendalian *level* pada sistem CSTR menggunakan aplikasi matlab. Logika *fuzzy* yang digunakan *tuning* parameter kendali PI dengan masukan berupa *error* dan *delta error* dan parameter K_p , K_i sebagai keluaran. Langkah perancangan *fuzzy* terbagi atas fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, dan defuzzifikasi. Metode *tuning* yang dipakai adalah metode *heuristic*. Data yang diperlukan diambil dari respon transien, Analisa kinerja metode dinilai dari respon transien pada beberapa kasus yang diuji secara *open loop*, pengujian terhadap kendali, pengujian terhadap gangguan 6% dan 8% dari *setpoint*. Parameter yang dianalisa seperti, *error steady state*, waktu tunda (*delay time*), waktu tunak (*settling time*), waktu naik (*rise time*), *overshoot*.

Percobaan dilakukan dengan melihat keluaran sistem terhadap *plant* yang dikendalikan. Hasil pengujian dilihat dalam bentuk grafik. Penelitian ini dimulai dari melihat hasil sistem sebelum digunakan kendali, kemudian dilakukan rancangan dan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

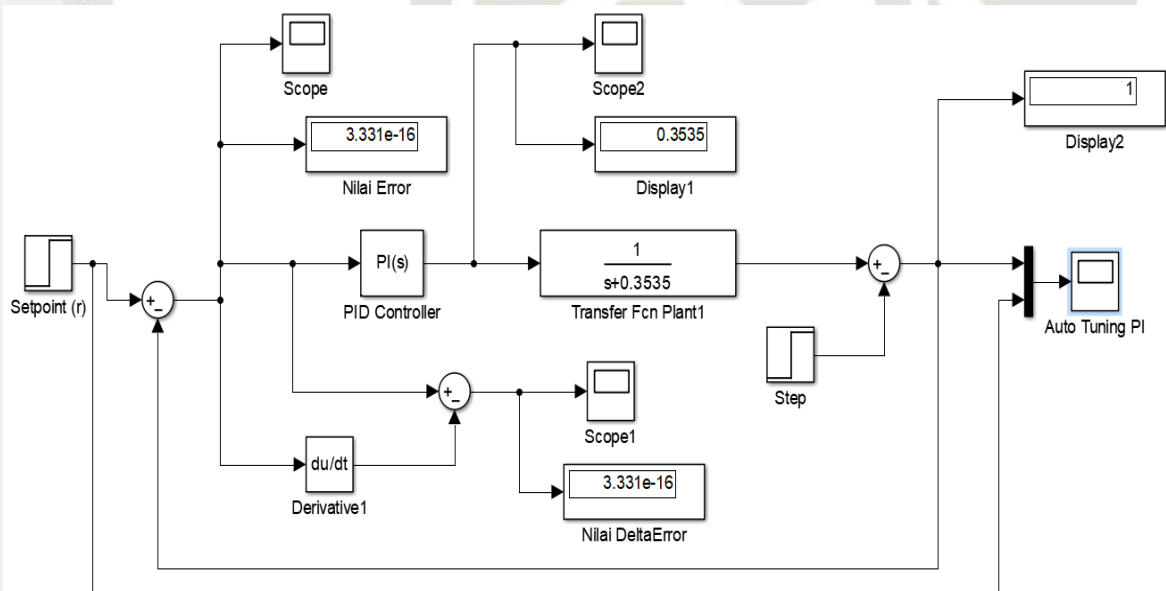
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

pengujian terhadap kendali *Tuning-PI* menggunakan *Fuzzy Sugeno*. Dalam penulisan penelitian ini ada beberapa analisis terhadap keluaran respon sistem, seperti

1. Hasil respon transien yang optimal
2. Tidak memiliki *error steady state*
error steady state, rise time, settling time, delay time merupakan parameter yang akan diamati dan dibandingkan.

3.5.1 Perancangan Pengendali *Tuning PI*

Dalam merancang *tuning PI*, pertama kali yang dikerjakan yaitu menetapkan nilai *input* dan *output* yang akan digunakan pada kendali *fuzzy*. Nilai *input* berupa *error* dan *delta error*, sedangkan nilai *output* berupa nilai K_p dan K_i yang didapatkan menggunakan metode *heuristic*. Selanjutnya membuat rangkaian *simulink* pada *software* matlab seperti gambar 3.5 dibawah ini.

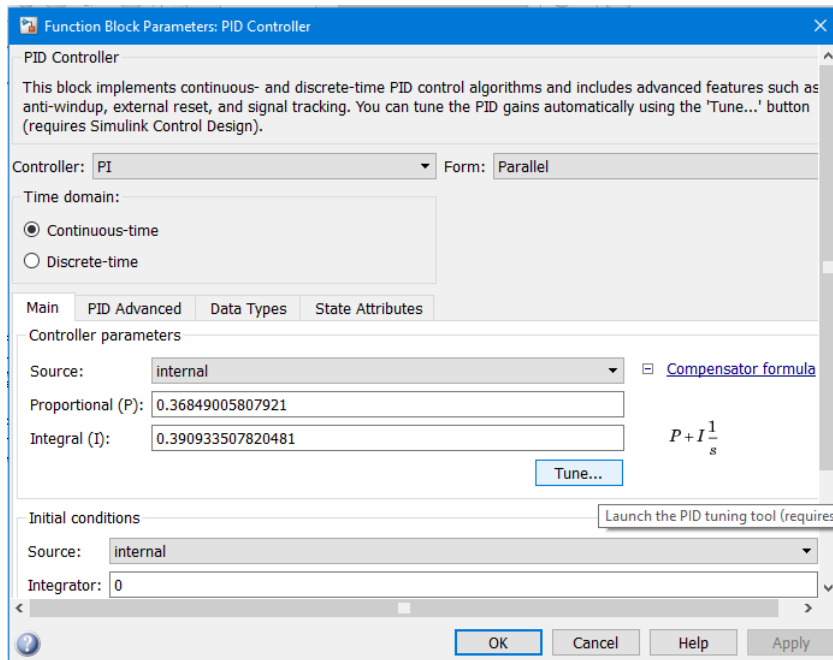


Gambar 3.5 Rangkaian *Simulink* Tuning PI

Langkah pertama, untuk menghasilkan *input* dan *output fuzzy* dengan cara *double* klik pada blok *PI controller*, kemudian akan menampilkan *function blok parameters PI controller* seperti gambar dibawah.

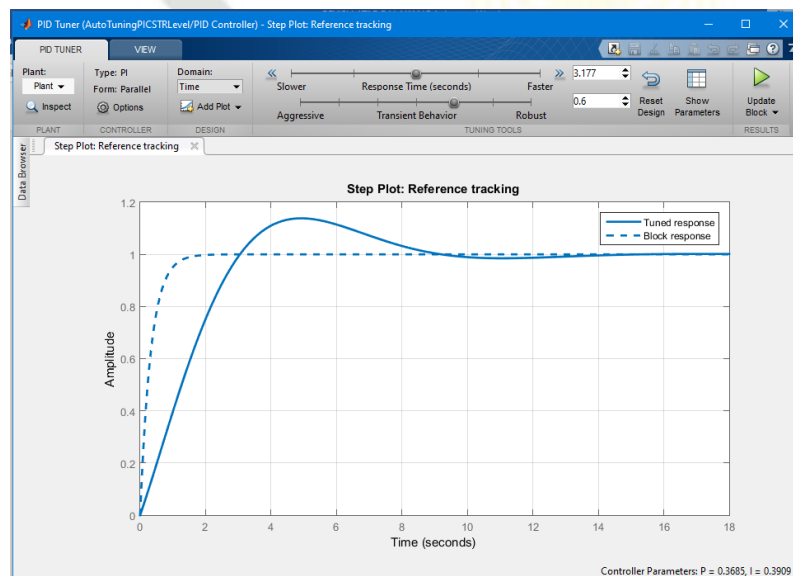
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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 3.6 Blok PI Controller sebelum tune

Selanjutnya, melakukan *tune* dengan cara *double klik* pada tombol *tune* yang ada pada tampilan blok PI controller untuk mendapatkan nilai P dan I yang sesuai dengan *setpoint* yang diberikan. Dengan cara menggeser tombol pada garis *response time* dan *transient behavior* yang terdapat pada gambar 3.7.

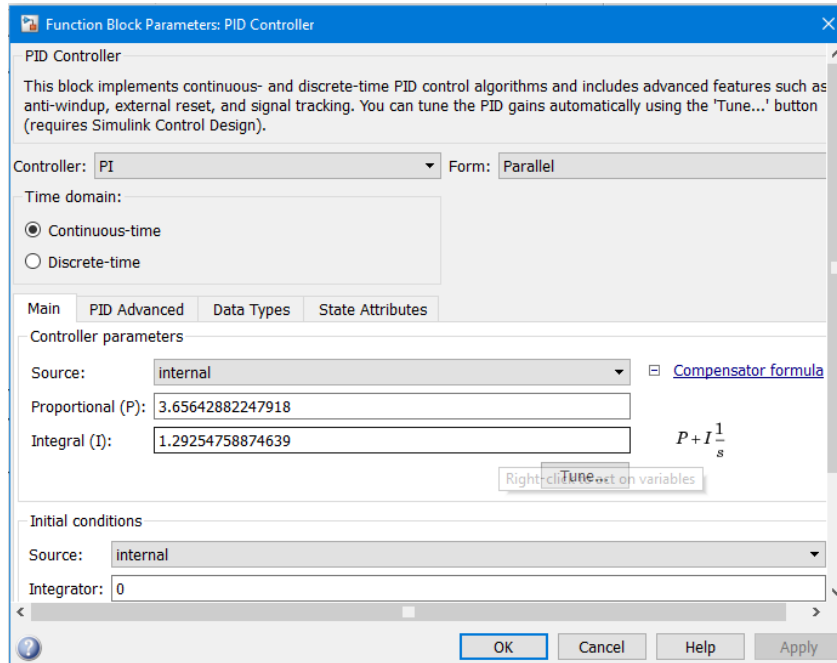


Gambar 3.7 Grafik PID Tuner

Saat mengatur grafik, hasil respon transient dapat dilihat langsung di *controller parameters* dengan menekan *show parameters*. *Tuning* berhenti dilakukan ketika sudah mendapatkan hasil yang baik, tekan *Update Block* untuk memperbarui nilai P dan I, Kemudian nilai tersebut digunakan sebagai *output* dalam *fuzzy*.

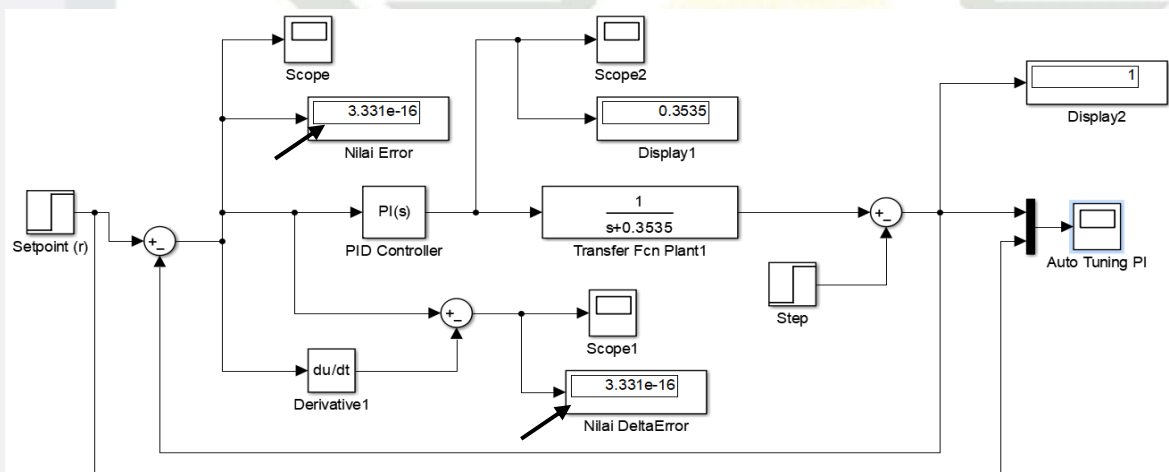
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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 3.8 Blok PI controller sesudah tune

Setelah mendapatkan nilai P dan I, klik OK dan jalankan simulasi, Matlab akan menghitung nilai *Error* dan *Delta Error* secara otomatis untuk dimasukkan ke dalam *fuzzy*.



Gambar 3.9 Nilai Error dan Delta Error

3.5.2 Perancangan Kendali Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki

Dalam merancang kendali ini *fuzzy* yang digunakan adalah *fuzzy sugeno*. *Tuning* kontroler PI menggunakan logika *fuzzy* sebagai metodenya. Logika *fuzzy* digunakan sebagai *tuning* parameter kontroler PI dengan *error* (e) dan *delta error* (Δe) digunakan untuk *input* sedangkan parameter KP dan Ki digunakan untuk *output*. Logika *fuzzy* mampu menyelesaikan sistem yang non linier seperti CSTR, mampu beradaptasi pada perubahan parameter dan lingkungan, desain yang sederhana dan

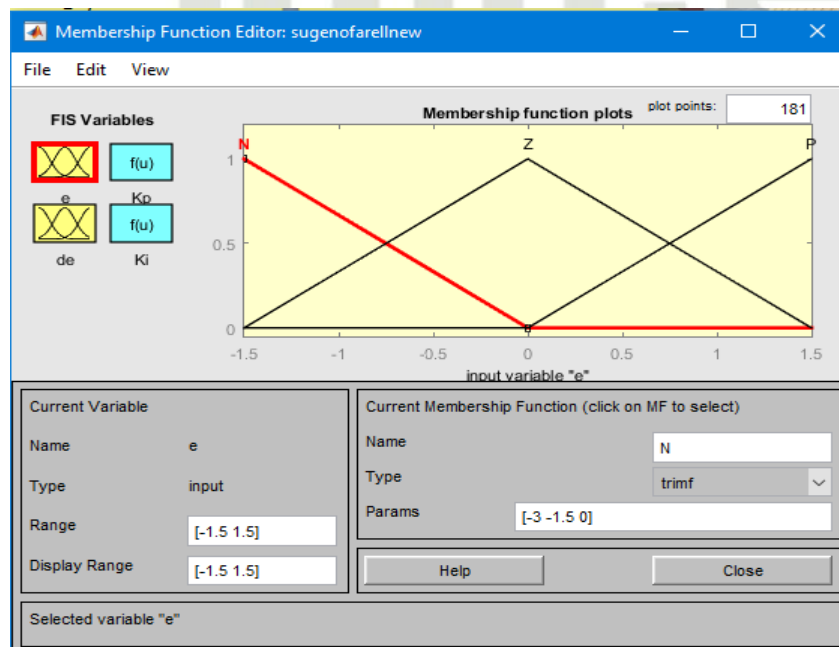
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

mudah diterapkan. Perancangan kendali *fuzzy* terdiri dari 3 tahap yaitu, fuzzifikasi, inferensi fuzzy dan defuzzifikasi sebagai berikut.

1. Fuzzifikasi

Perancangan fuzzifikasi dalam pemodelan ini menggunakan 3 keanggotaan himpunan, nilai *range input* berupa *error* dan *delta error* didapat dari hasil grafik nilai *error* dan *delta error* yang ada pada *scope* dan *scope 1* di gambar 3.9. Kemudian untuk nilai *error* dan *delta error* didapatkan dari perhitungan matlab sendiri dan *range* parameter himpunan *fuzzy* dari *error* dimulai dari [-3 -1.5 0], [-1.5 3.331e⁻¹⁶ 1.5], [0 1.5 3] dan *delta error* dimulai dari [-10 -5 0], [-5 3.331e⁻¹⁶ 5], [0 5 10] untuk keanggotaan himpunan N,Z,P seperti gambar 3.10 berikut ini.

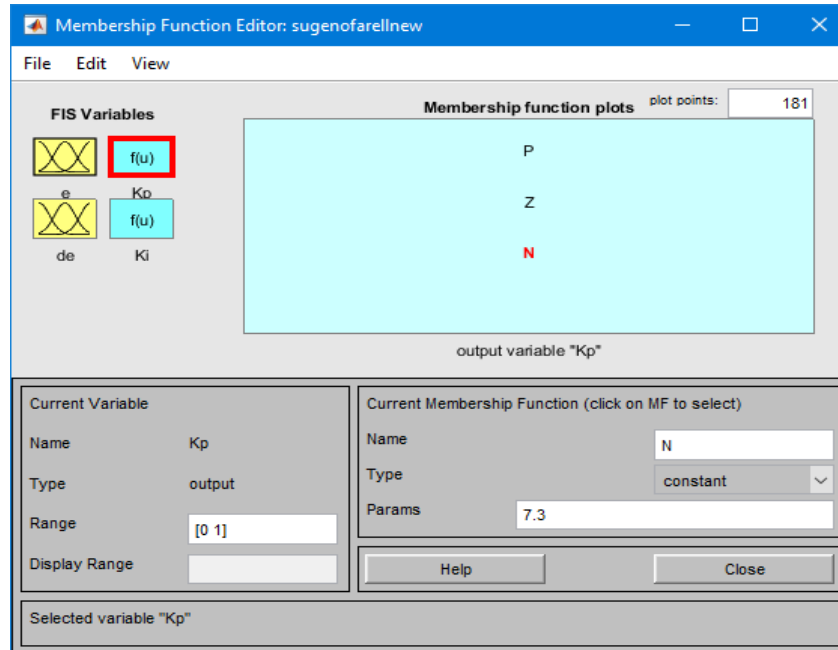


Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error

Nilai *range* himpunan yang ditetapkan pada *output 1* menggunakan nilai K_p , dan nilai *range* himpunan yang ditetapkan pada *output 2* menggunakan nilai K_i . Nilai *output 1* tentang parameter himpunan P adalah [0], himpunan Z adalah [3.65], dan himpunan N adalah [7.3]. untuk *output 2* rentang parameter himpunan P adalah [0], himpunan Z adalah [1.29], himpunan N adalah [2.58].

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 3.11 Fungsi Keanggotaan *Output* Kp Ki

2. Inferensi Fuzzy

Dalam membuat *rule base* menggunakan pendekatan *heuristic*. Pendekatan *heuristic* dalam penelitian ini lebih mudah dalam penyusunannya. Pada pendekatan *heuristic*, *rule base* dirancang dalam bentuk pengetahuan kualitatif dari respon *plant* secara *open loop*. Tujuan penelitian *plant* dalam desain ini adalah untuk menciptakan respon dengan nilai kesalahan kondisi tunak yang rendah. Berikut *rule base* yang digunakan.

1. IF (error is N) and (delta error is N) THEN (Kp is N) and (Ki is N)
2. IF (error is N) and (delta error is Z) THEN (Kp is N) and (Ki is N)
3. IF (error is N) and (delta error is P) THEN (Kp is Z) and (Ki is Z)
4. IF (error is Z) and (delta error is N) THEN (Kp is N) and (Ki is N)
5. IF (error is Z) and (delta error is Z) THEN (Kp is Z) and (Ki is Z)
6. IF (error is Z) and (delta error is P) THEN (Kp is P) and (Ki is P)
7. IF (error is P) and (delta error is N) THEN (Kp is Z) and (Ki is Z)
8. IF (error is P) and (delta error is Z) THEN (Kp is P) and (Ki is P)
9. IF (error is P) and (delta error is P) THEN (Kp is P) and (Ki is P)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

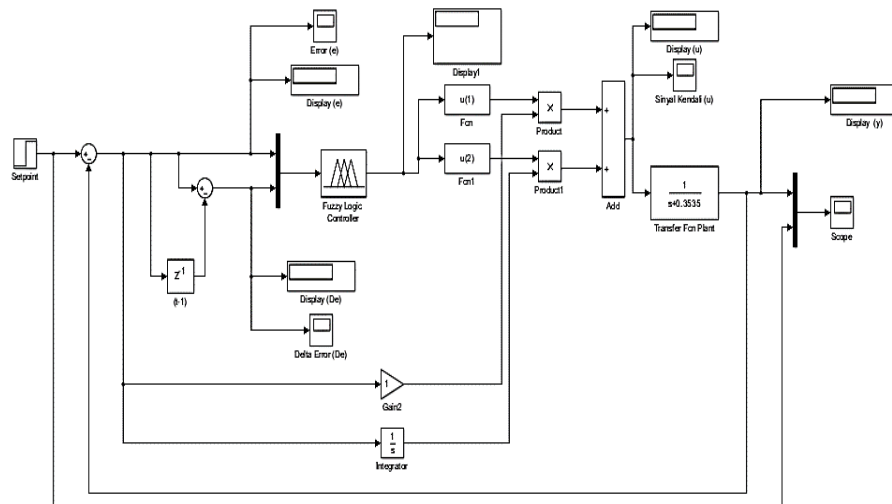
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Tabel 3.2 Rule Base Fuzzy

<i>Error</i> \ <i>Derror</i>	<i>Negative</i>	<i>Zero</i>	<i>Positive</i>
<i>Negative</i>	<i>Negative</i>	<i>Negative</i>	<i>Zero</i>
<i>Zero</i>	<i>Negative</i>	<i>Zero</i>	<i>Positive</i>
<i>Positive</i>	<i>Zero</i>	<i>Positive</i>	<i>Positive</i>

3. Defuzzifikasi

Tahap selanjutnya merangkai sistem kendali *fuzzy*, untuk disimulasikan dan dianalisa.

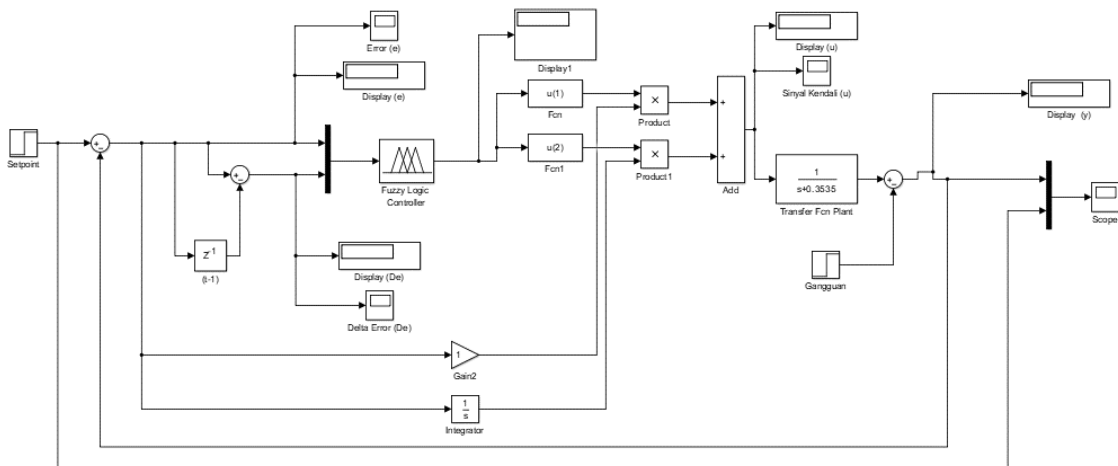


Gambar 3.12 Rangkaian Simulink *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki*

Gambar 3.12 diatas merupakan rancangan kendali *Tuning Kp Ki* menggunakan *Fuzzy Sugeno* pada sistem CSTR. Metode *heuristic* digunakan dalam perancangan ini untuk mendapatkan koefisien K_p dan K_i dengan memodifikasi berdasarkan hasil respon *plant*. Selanjutnya menentukan respon transien dari sistem setelah mendapatkan nilai K_p dan K_i yang sesuai.

3.6 Perancangan Kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* dengan gangguan Sinyal Kendali

Dalam merancang pengendali ini diberikan gangguan untuk melihat ketahanan kendali dengan mengamati keadaan tunak pada grafik. Gangguan sebesar 6% dan 8% dari *setpoint* diterapkan pada pengujian ini dengan waktu 10 detik.



Gambar 3.13 Rangkaian kendali PI Fuzzy dengan gangguan sinyal kendali

3.7 Skenario Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* untuk pengendalian *level* pada sistem CSTR dengan memasukan nilai yang sudah didapatkan dari pemodelan matematis dalam program matlab. Ada beberapa percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini dengan memeriksa *output* dari grafik yang dihasilkan oleh sistem selama simulasi, dan hasil tersebut merupakan respon transien. Adapun kajian yang dilakukan yaitu :

1. Simulasi sistem secara *open loop*
2. Percobaan dengan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* dengan tinggi 1 meter.
3. Pengujian dengan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* dengan diberikan gangguan sebesar 6% dan 8%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa respon sistem CSTR untuk pengendalian *level* dengan masalah yang terjadi yaitu adanya *error steady state* dan respon sistem yang bisa dipercepat lagi, dapat disimpulkan bahwa kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* dengan koefisien K_p 8.62 dan K_i 1.03 mampu mempercepat respon sistem dari penelitian sebelumnya dan dapat membuat *level* sistem CSTR mencapai *setpoint* yang diberikan sebesar 1 meter. Dan kendali ini mampu mempertahankan sistem dalam keadaan *steady state* ketika diberikan gangguan sebesar 6% dan 8% dari *setpoint*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dengan kendali *Fuzzy Sugeno Tuning KP Ki* menggunakan metode heuristic, penelitian dilakukan sampai memberikan gangguan. Pada penelitian ini peneliti menggunakan *membership function 3x3*, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan *membership function 7x7* untuk mengetahui apakah respon sistem yang dihasilkan lebih baik dari *membership function 3x3*.

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] I. F. Maulana, H. A. Mauluddi and B. Laksana, "Pengaruh Perputaran Kas Terhadap NPM pada Perusahaan Makanan dan Minuman di Bursa Efek Indonesia," *Indonesian Journal of Economics and Management*, vol. II, no. 2, pp. 296-308, 2022.
- [2] I. Y. Damanik, "Optimasi Aplikasi Kontrol PI pada Tekanan di Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) menggunakan Response Surface Methodology (RSM)," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. II, pp. 15-32, 2019.
- [3] D. Mursyitah, A. Faizal, E. Ismaredah and D. M. Putri, "Analisa Performansi Pengendali Hybrid Sliding Mode (DSM) dan Sliding Mode dengan Permukaan Luncur PID Pada Proses CSTR," *Jurnal SNTIKI*, vol. XI, pp. 575-581, 2019.
- [4] D. Mursyitah and R. Novita, "Analisis Pengaruh Kendali Proposional Derivatif (PD) Pada Permukaan Luncur Sliding Modekontroller Pada Proses Continuous Stirred Tank Reactor," *Jurnal SNTI*, vol. IV, pp. 1-6, 2014.
- [5] I. M. Dewi, Pengendalian Proses Variabel Jamak CSTR Menggunakan Model Predictive Control pada UNISIM R390.1, Depok: Skripsi Universitas Indonesia, 12.
- [6] D. Mursyitah and N. P. Miefthawati, "Desain Pengendali Hybrid PI dan Sliding Mode pada Proses CSTR," *Jurnal SNTIKI*, vol. VI, pp. 8-13, 2014.
- [7] S. Jakfar, Desain Kendali MRAC-PD pada Pengendalian Level untuk Sistem Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR), Skripsi UIN SUSKA RIAU, 2019.
- [8] R. Meimaharani and T. Listyorini, "Analisis Sistem Inference Fuzzy Sugeno Dalam Menentukan Harga Penjualan Untuk Pembangunan Minimarket," *Jurnal SIMETRIS*, vol. V, no. 1, pp. 89-96, 2014.
- [9] S. A. Siallagan and W. Sahara, "Penerapan Fuzzy Sugeno dalam Usaha Roti Ketawa," *Jurnal Penerapan Sistem Informasi (Komputer & Manajemen)*, vol. I, no. 2, pp. 73-76, 2020.
- [10] S. Widaningsih, "Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur," *Jurnal Informatika dan Manajemen STMIK*, vol. XI, no. 1, pp. 51-65, 2017.

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.

- [11] A. Pardomuan, A. Triwiyatno and B. Setiyono, "Perancangan Kontroler Self Tuning Fuzzy Pi Untuk Pengendalian Ketinggian Air Dan Temperatur Uap Pada Steam Drum Boiler," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. VI, no. 1, pp. 45-52, 2017.
- [12] A. Setiawan, LOGIKA FUZZY Dengan M A T L A B (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto), Bali: Jayapangus Press, 2018.
- [13] A. Kholiq, "Design Sistem Pengendali Adaptif Fuzzy pada Mobile Robot untuk Menghindari Halangan," *Institute Teknologi Sepuluh November*, no. 1, pp. 1-41, 2009.
- [14] P. D. Lestari and A. Hadi, "Desain PI Controller menggunakan Ziegler Nichols Tuning pada Proses Nonlinier Multivariable," *Jurnal SNTIKI*, no. 4, pp. 439 - 446, 2012.
- [15] F. Isdaryani, "Desain Pengendali pH pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) menggunakan Kontrol Fuzzy," *Jurnal Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, vol. 10, pp. 116-122, 2019.
- [16] D. Mursyitah, A. Faizal, E. Ismaredah and A. A. Maharani, "Desain Pengendali Hybrid Fuzzy-SSMC Untuk Pengendalian Level pada Coupled Tank," *Jurnal SNTIKI*, vol. XI, pp. 566-574, 2019.
- [17] H. Khusna and S. Ulfah, "Kemampuan Pemodelan Matematis dalam Menyelesaikan Soal Matematika Kontekstual," *Jurnal Pendidikan Matematika*, vol. 10, pp. 153-164, 2021.
- [18] K. Ogata, Teknik Kontrol Automatik, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [19] K. Ogata, Modern Control Engineering, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [20] Darjat, M. Syahadi and I. Setiawan, "Aplikasi Kontrol Proporsional Integral Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Untuk Pengaturan Suhu Pada Alat Pengering Kertas," in *Auditorium Universitas Gunadarma*, Depok, 2008.
- [21] D. A. Ratna, Sistem Kendali Cerdas Edisi Pertama, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [22] I. Iswari and F. Wahid, "Alat Bantu Sistem Inferensi Fuzzy Metode Sugeno Orde Satu," *Jurnal SNATI*, pp. 59-64, 2005.
- [23] D. L. Rahakbauw, "Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Berdasarkan Data Persediaan dan Jumlah Permintaan (Studi Kasus : Pabrik Roti Sarinda Ambon)," *Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. IX, no. 2, pp. 121-134, 2015.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
- 24] A. Wahid, S. Anandita, A. H. Mendrofa and M. F. Fadlian, "Improvement of Linear Distillation Column Control Performance Using Fuzzy Self-Tuning PI Controller," in *AIP Conference Proceedings*, Depok, 2020.
 - 25] D. Mursyitah and Adril, "Analisa Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Pengendali Hybrid SMC dan Pid dengan Metode Heuristik," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 14, no. 1, pp. 32-36, 2016.
 - 26] Waluyo, A. Fitriansyah and S. , "Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," *Jurnal Teknik Elektro ELKOMIKA*, vol. I, no. 2, pp. 79-92, 2013.
 - 27] A. Tjolleng, *Pengantar Pemrograman MATLAB*, Indonesia: PT. Elex Media Komputindo, 2017.

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

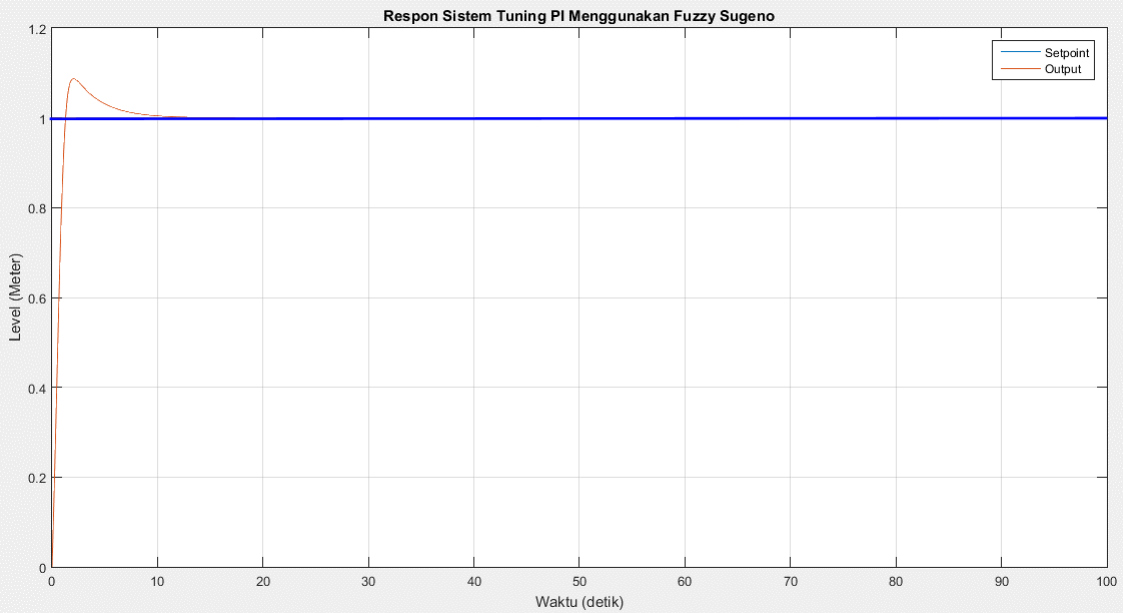
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

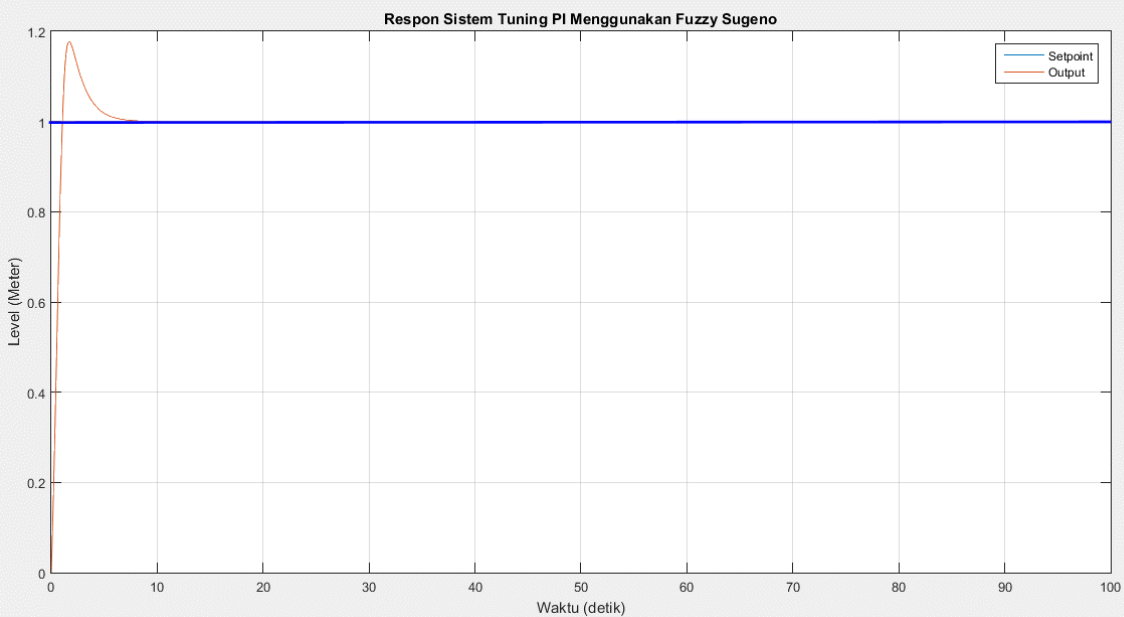
LAMPIRAN

Proses Penalaan Koefisien Kp dan Ki dengan Kendali *Fuzzy Sugeno Tuning Kp Ki* Menggunakan Metode *Heuristic*

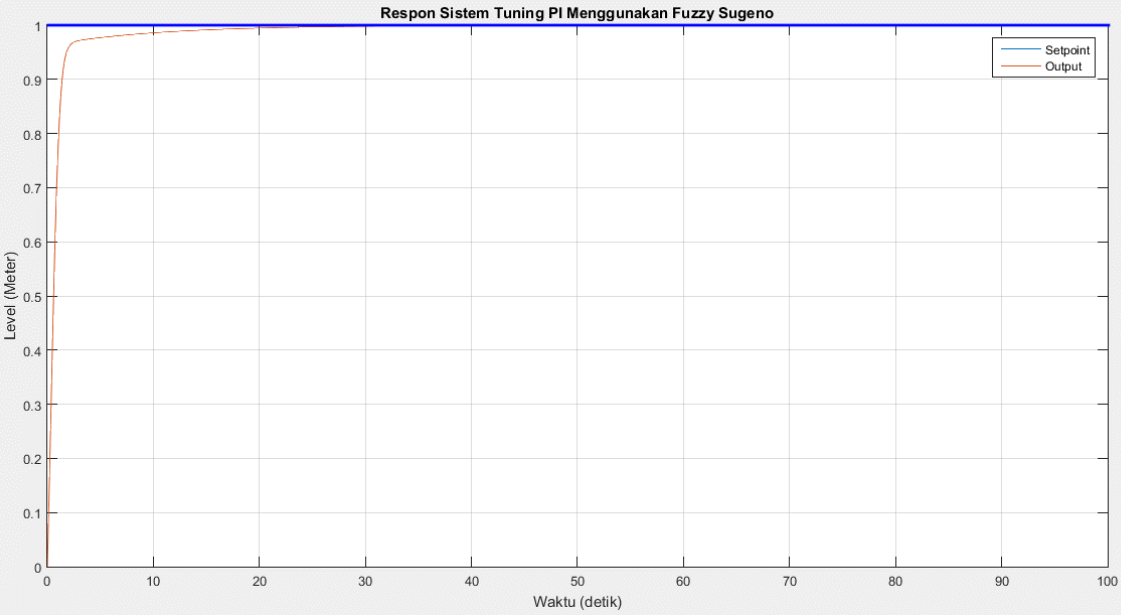
1. Hasil simulasi dengan Koefisien $K_p = 3.65$ dan $K_i = 1.29$



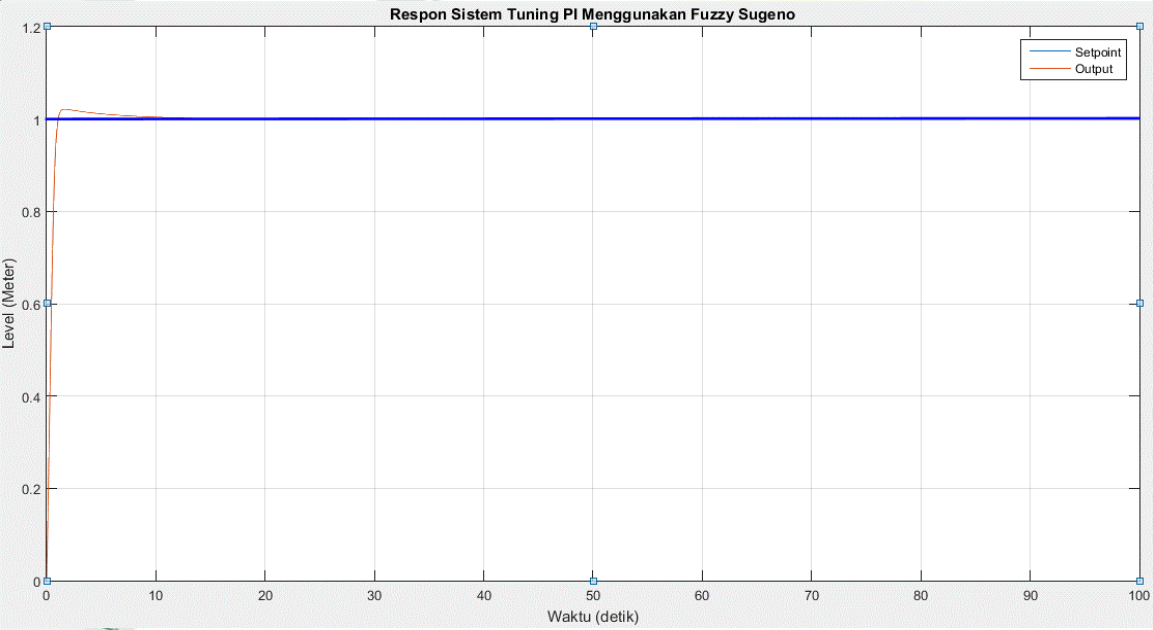
2. Hasil simulasi dengan Koefisien $K_p = 3.65$ dan $K_i = 2.29$



3. Hasil simulasi dengan koefisien $K_p = 3.65$ dan $K_i = 0.35$

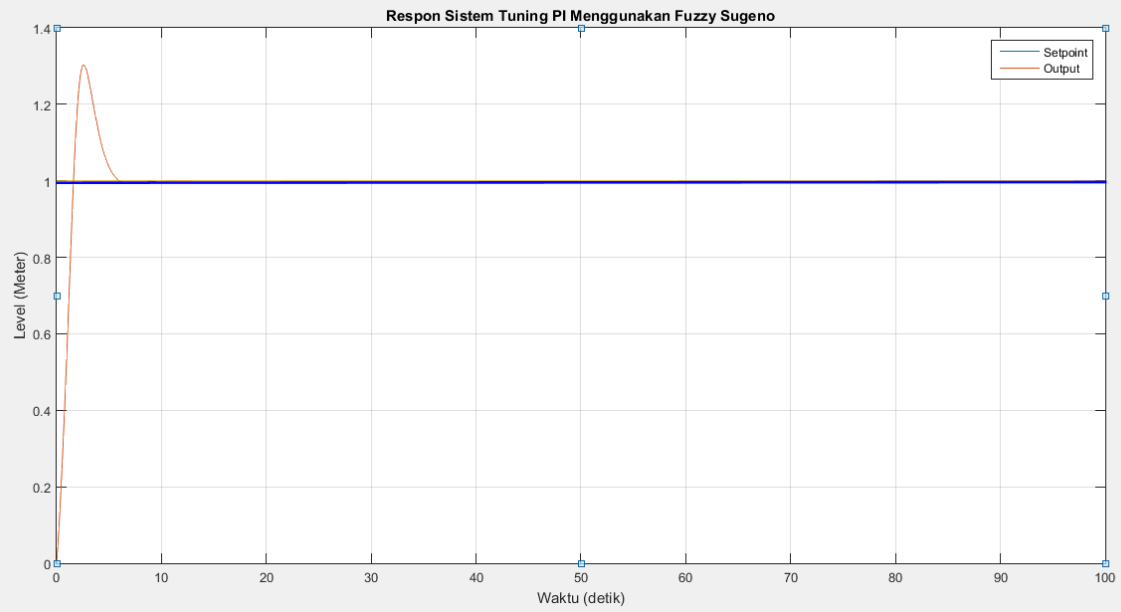


4. Hasil simulasi dengan koefisien $K_p = 6.65$ dan $K_i = 1.29$

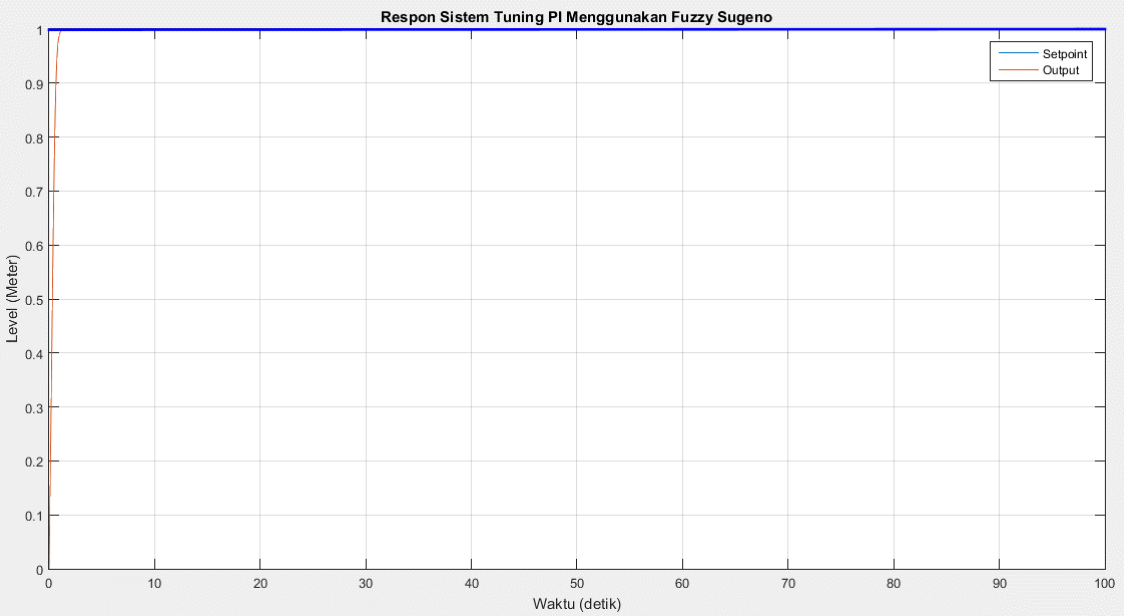


- Hak C
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Hasil simulasi dengan koefisien $K_p = 1.65$ dan $K_i = 1.29$

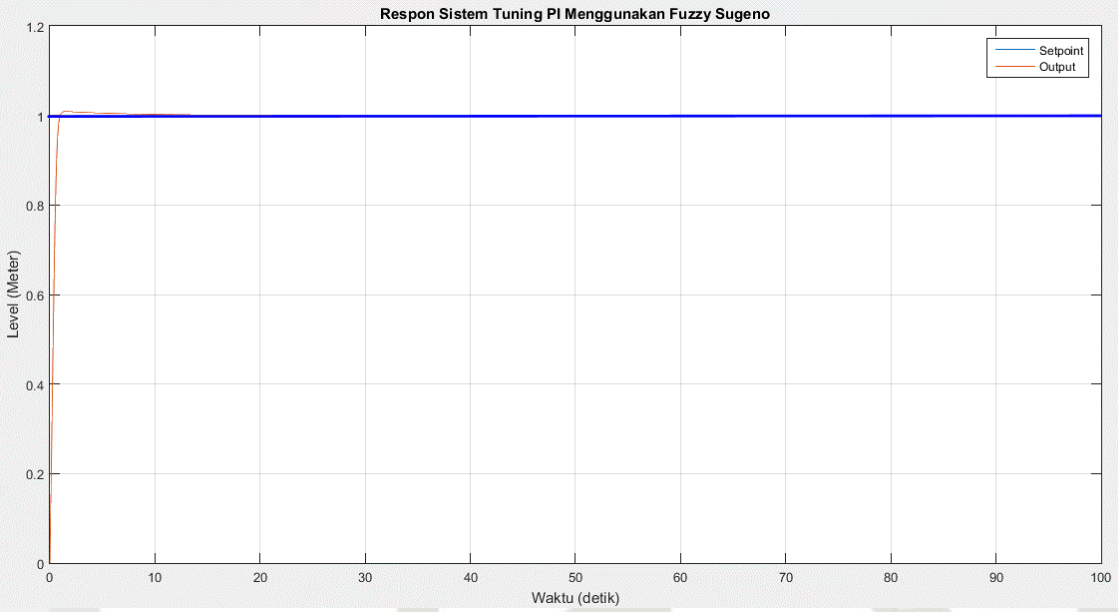


6. Hasil simulasi dengan koefisien $K_p = 8.62$ dan $K_i = 1.03$

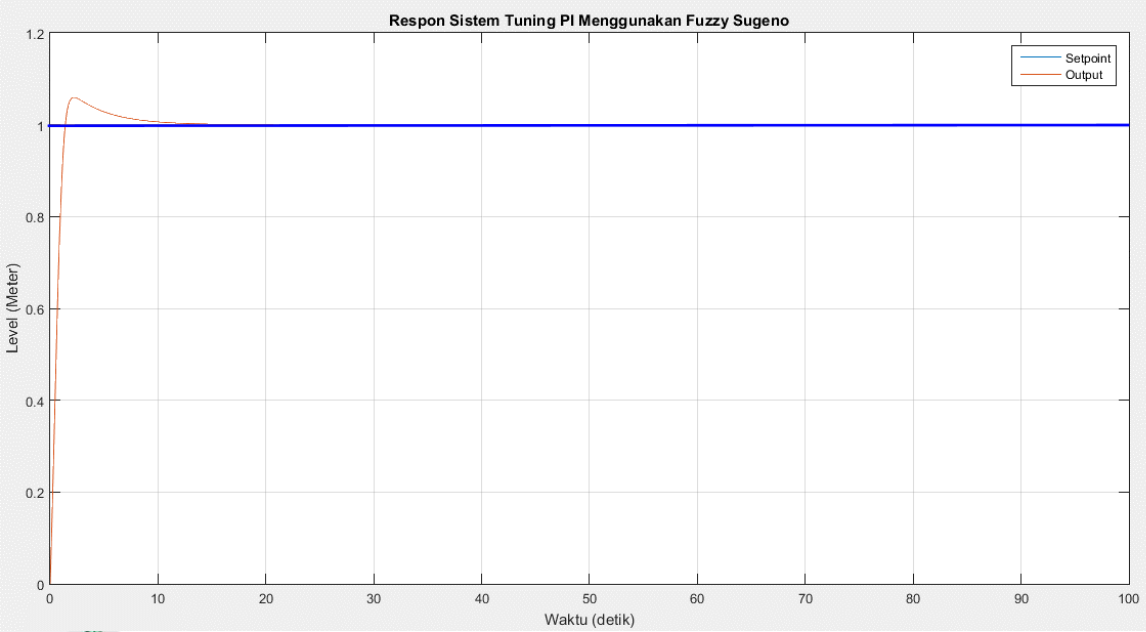


- Hak Ci**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan 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.

Hasil simulasi dengan koefisien $K_p = 8.62$ dan $K_i = 1.29$



8. Hasil simulasi dengan koefisien $K_p = 3.65$ dan $K_i = 1.03$



- Hak C .
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.