

DESAIN KENDALI *TUNING* PI MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY* UNTUK MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA *ISOTHERMAL* *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR)

LAPORAN TUGAS AKHIR

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



Oleh:

REZA KURNIAWAN

11755100053

**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.

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 *TUNING* PI MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY* UNTUK
MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA *ISOTHERMAL CONTINUOUS*
STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

TUGAS AKHIR

Oleh:

REZA KURNIAWAN

11755100053

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di
Pekanbaru, pada tanggal 05 Januari 2022

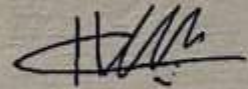
**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**



Digitally signed by
Zulfatri Aini
Tanggal:
2022.01.11
11:09:27
WIB

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

Pembimbing



Halim Mudia, ST., MT
NIK. 130 517 053

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 PENGESAHAN

**DESAIN KENDALI *TUNING* PI MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY*
UNTUK MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA *ISOTHERMAL*
*CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)***

TUGAS AKHIR

Oleh:

REZA KURNIAWAN
11755100053

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 tanggal 05 Januari 2022

Pekanbaru, 05 Januari 2022


Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Hortono, M. Pd
NIP. 19640301 199203 1 003



Digitally signed by
Zulfatri Aini
Tanggal:
2022.01.11
12:04:57 WIB

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




DEWAN PENGUJI

Ketua : Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc


Sekretaris : Halim Mudia, ST.,MT

Anggota I : Jufrizel, ST.,MT

Anggota II : Ahmad Faizal, ST.,MT



Ahmad Faizal
2022.01.11
06:15:58 447907



LAMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Reza Kurniawan
NIM : 11755100053
Tempat/Tgl. Lahir : Dumai / 9 April 1999
Fakultas/Pascasarjana : Sains dan Teknologi / S1
Prodi : Teknik Elektro

Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya*:

Desain Kendali Tuning PI Menggunakan Logika Fuzzy untuk Mengendalikan Konsentrasi pada Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

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

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

Pekanbaru, 13 Januari 2022

.....
membuat pernyataan



Reza Kurniawan
NIM : 11755100053

* pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir 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 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.

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.

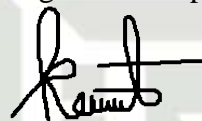
LEMBAR PERNYATAAN

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 yang saya ketahui, saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang telah dilampirkan dalam referensi dan dalam daftar pustaka.

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

Pekanbaru, 05 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



REZA KURNIAWAN

NIM. 11755100053

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 yang tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat 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 pahlawan 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, kakak dan abang, 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 ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."

(QS: Al-Isra 80)

/ Reza Kurniawan |

| 27 Desember 2021 |

DESAIN KENDALI *TUNING* PI MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY* UNTUK MENGENDALIKAN KONSENTRASI PADA *ISOTHERMAL* *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR* (CSTR)

REZA KURNIAWAN

NIM: 11755100053

Tanggal Sidang: 05 Januari 2022

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

ICSTR ialah sejenis CSTR berfungsi untuk mencampurkan dua fluida atau lebih menjadi produk dimana suhu pada CSTR ini dianggap konstan. Salah satu variabel CSTR yang perlu dikendalikan adalah konsentrasi, konsentrasi harus dikontrol agar produk yang tidak diinginkan tidak terjadi. Konsentrasi perlu dikendalikan karena respon sistem sering tidak mencapai *setpoint* yang diinginkan. Pada penelitian ini menggunakan pengendali *Tuning* PI menggunakan Logika *Fuzzy*. Tolak ukur keberhasilan pengendali tersebut ialah pengendali mampu melakukan *tuning* otomatis secara berulang terhadap perubahan *setpoint*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa respon sistem mampu mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan yaitu 1 g.mol/liter dan dapat mengatasi *error steady state* dimana didapatkan nilai-nilai parameter yaitu $E_{ss} = 0$ g.mol/liter, $t_r = 2.514$ detik, $t_s = 4.405$ detik, $t_d = 1.308$ detik, dan $M_p = 0\%$ g.mol/liter.

Kata Kunci: ICSTR, Konsentrasi, *Tuning* PI menggunakan Logika *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.

PI TUNING CONTROL DESIGN USING FUZZY LOGIC TO CONCENTRATE CONCENTRATION ON ISOTHERMAL CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

REZA KURNIAWAN

Student Number: 11755100053

Date of Final Exam: January 05th, 2022

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

ICSTR is a type of CSTR that functions to mix two or more fluids into a product where the temperature at this CSTR is considered constant. One of the CSTR variables that need to be controlled is concentration, the concentration must be controlled so that unwanted products do not occur. Concentration needs to be controlled because the system response often does not reach the desired setpoint. In this study using the PI Tuning controller using Fuzzy Logic. The measure of the success of the controller is that the controller is able to perform automatic tuning repeatedly for changes in setpoints. The results of this study indicate that the system response is able to achieve the desired setpoint value of 1 g.mol/liter and can overcome steady state errors where the parameter values obtained are $E_{ss} = 0$ g.mol/liter, $t_r = 2.514$ seconds, $t_s = 4.405$ seconds, $t_d = 1.308$ seconds, and $M_p = 0\%$ g.mol/liter.

Key Word: ICSTR, Concentration, PI Tuning using Fuzzy Logic

- 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

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah memberikan rahmat serta hidayahnya, kekuatan dan kesabaran kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada junjungan alam alim baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang panutan pemimpin dan suri teladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Desain Kendali Tuning PI Menggunakan Logika Fuzzy untuk Mengendalikan Konsentrasi pada *Ishothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*”.

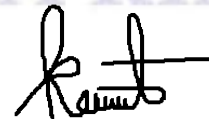
Melalui proses bimbingan serta dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada di sekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana. Oleh sebab itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi rahmat hidayah-nya.
2. Ayah dan Ibu tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Khairunnas Rajab, M. Ag, selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta seluruh staf dan jajarannya.
4. Bapak Dr. Hartono, M. Pd, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
5. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T, M.T ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Sutoyo, S.T, M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
7. Bapak Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M. Sc selaku Ketua Sidang Tugas Akhir yang telah bersedia memberikan waktu serta memberikan kritik dan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
8. Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 9. Bapak Jufrizel, ST., MT dan Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah banyak memberikan masukan yang membangun kepada peneliti sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 10. Bapak Putut Son Maria, S.ST., MT selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
 11. Ibu Marhama Jelita, S. Pd, M. Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga semester 9 ini.
 12. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 13. Rayhan Pratama Asri, Juliesty Huswina Nasution, Erryni Chantika Permata, Nadia Aspa, Alfani Fatiwa, Ulfa Fadhillah, Al Fikram selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil dengan ikhlas mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya dan dapat dijadikan referensi. Penulis sadar bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini

Pekanbaru, 05 Januari 2022



Reza Kurniawan

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAAN KARYA ILMIAH.....	iv
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	v
LEMBAR PERNYATAAN	vii
LEMBAR PERSEMBAHAN	viii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR RUMUS.....	xvii
DAFTAR LAMBANG	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-5
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-5
1.4 Batasan Masalah.....	I-6
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori	II-3
2.2.1 <i>Continous Sttired Tank Reactor (CSTR)</i>	II-3
2.2.2 <i>Modeling and Isothermal Continous Sttired Tank Reactor (CSTR)</i>	II-5
2.3 Pengertian Sistem Kendali	II-7
2.4.1 Pengendali <i>Proportional Integral (PI)</i>	II-8
2.4 Logika <i>Fuzzy</i>	II-9
2.5.1 Himpunan <i>Fuzzy</i>	II-10
2.5.2 Fuzifikasi.....	II-11

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.

2.5.3	Aturan <i>Fuzzy</i>	II-12
2.5.4	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> Mamdani.....	II-13
2.5.5	Defuzzifikasi	II-14
2.6	Pengendali <i>Tuning</i> PI Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i>	II-15
2.7	Metode Heuristik	II-15
2.5	Identifikasi Respon Transien.....	II-16
2.8	MATLAB (<i>Matrix Laboratory</i>)	II-17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		III-1
3.1	Jenis Penelitian	III-1
3.2	Proses Alur Penelitian	III-1
3.3	Tahapan Penelitian	III-2
3.4	Pemodelan Matematis ICSTR	III-3
3.5	Validasi Pemodelan Matematis	III-5
3.5	Skenario Penelitian.....	III-6
3.6	Perancangan Pengendali.....	III-6
3.6.1	Perancangan Pengendali <i>Tuning</i> PI	III-7
3.6.2	Perancangan Pengendali <i>Tuning</i> PI Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i>	III-9
3.6.3	Perancangan Pengendali PI <i>Tuning Fuzzy Logic</i> dengan Gangguan Sinyal kendali	III-11
3.7	Hasil data Penelitian yang Akan diamati	III-12
3.7.1	Respon <i>Transient</i> Sistem Dari Setiap Pengujian	III-12
BAB IV HASIL DAN ANALISA		IV-1
4.1	Gambaran Umum Pengujian	IV-1
4.2	Hasil dan Analisa Simulasi Konsentrasi pada sistem ICSTR <i>Open Loop</i>	IV-1
4.3	Analisa Simulasi Konsentrasi pada sistem ICSTR dengan Pengendali <i>Tuning</i> PI.....	IV-3
4.4	Analisa Simulasi Konsentrasi pada sistem ICSTR dengan Pengendali <i>Tuning</i> PI Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i>	IV-6
4.5	Analisa Simulasi Konsentrasi pada sistem ICSTR Menggunakan Pengendali <i>Tuning</i> PI Logika <i>Fuzzy</i> dengan Gangguan Sinyal Kendali.....	IV-9
4.6	Analisa Perbandingan Respon Sistem secara <i>Open Loop</i> dan Menggunakan Pengendali <i>Tuning</i> PI Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i>	IV-10
BAB V		V-1
5.1	KESIMPULAN	V-1

5.2 SARAN V-1

DAFTAR PUSTAKA

CAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Reaktor CSTR.....	II-4
Gambar 2. 2 Representasi skema pada reaktor	II-5
Gambar 2. 3 Blok Diagram Pengendali PI	II-8
Gambar 2. 4 Representasi Linear Naik	II-11
Gambar 2. 5 Representasi Linear Turun.....	II-11
Gambar 2. 6 Representasi Segitiga	II-12
Gambar 2. 7 Representasi Trapesium	II-12
Gambar 2. 8 Diagram Pengendali PI <i>Tuning-Fuzzy Logic</i>	II-15
Gambar 2. 9 Respon Transien Sistem Orde 2.....	II-16
Gambar 2. 10 Tampilan Matlab 2015B	II-17
Gambar 2. 11 Tampilan model <i>simulink</i> pada Matlab.....	II-18
Gambar 2. 12 Kotak Dialog <i>Simulink Library</i>	II-18
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	III-1
Gambar 3.2 Diagram Blok <i>Open Loop</i> ICSTR.....	III-5
Gambar 3. 3 Respon Sistem Secara <i>Open Loop</i>	III-5
Gambar 3. 4 <i>Rangkaian</i> Simulink Tuning PI	III-7
Gambar 3. 5 Tampilan blok <i>PI Controller</i>	III-8
Gambar 3. 6 Tampilan Grafik <i>Tuning</i> PI.....	III-8
Gambar 3. 7 Fungsi Keanggotaan <i>Error</i> dan <i>Delta error</i>	III-9
Gambar 3. 8 Fungsi Keanggotaan <i>Output 1</i>	III-10
Gambar 3. 9 Fungsi Keanggotaan <i>Output 2</i>	III-10
Gambar 3. 10 Rangkaian <i>Simulink</i> Pengendali <i>Fuzzy</i> PI.....	III-11
Gambar 3. 11 Rangkaian <i>Simulink</i> Pengendali <i>Tuning</i> PI menggunakan Logika <i>Fuzzy</i> dengan Gangguan Sinyal Kendali 9% dari <i>Setpoint</i>	III-12
Gambar 4. 1 Respon Keluaran Konsentrasi pada sistem ICSTR secara <i>Open Loop</i> ..	IV-2
Gambar 4.2 Respon Simulasi Sistem dengan Pengendali <i>Tuning</i> PI	IV-4
Gambar 4. 3 Respon Keluaran dengan Pengendali Tuning PI Logika <i>Fuzzy</i>	IV-7
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi dengan Gangguann Sinyal Kendali 9% dari <i>Setpoint</i> ...	IV-9

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Respon pengendali PI terhadap perubahan parameter.....	II-9
Tabel 3. 1 Parameter ICSTR.....	III-3
Tabel 3. 2 <i>Rules Base Fuzzy</i>	III-11
Tabel 4. 1 Respon waktu sistem secara <i>Open Loop</i>	IV-4
Tabel 4. 2 Respon waktu dengan menggunakan pengendali Tuning PI.....	IV-6
Tabel 4. 3 Respon waktu dengan menggunakan pengendali Tuning PI Logika <i>Fuzzy</i>	IV-9
Tabel 4. 4 Perbandingan Respon Sistem secara <i>Open Loop</i> , dan pengendali <i>Tuning PI</i> Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i>	IV-10

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 RUMUS

- 1 Persamaan untuk Kesetimbangan Material
- 6 Rumus Pembentukan Molar
- 8 Persamaan *Steady State*
- 10 Persamaan Matriks A
- 11 Persamaan Matriks B
- 13 Persamaan Fungsional Dinamis
- 2.15 Elemen ruang pada *State Space* Matriks
- 2.31 Rumus Persentasi Lewatan Maksimum
- 2.31 Himpunan *Fuzzy*
- 3.1 Persamaan *Transfer Function* ICSTR
- 3.2 Model Matematis ICSTR

DAFTAR LAMBANG

C_5H_{10}	Siklopentanol
$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$	Silkopentanadiol
C_5H_8	Disiklopentadiena
k_1	Nilai konstanta untuk $A \rightarrow B$ (min^{-1})
k_2	Nilai konstanta untuk $B \rightarrow C$ (min^{-1})
K_3	Nilai konstanta untuk $2A \rightarrow D$ ($\frac{\text{mol}}{\text{l}} - \text{min}$)
C_A	Konsentrasi A
C_B	Konsentrasi B
C_{AS}	Kesetimbangan Pada Konsentrasi A
C_{BS}	Kesetimbangan Pada Konsentrasi B
C_{Afs}	Kesetimbangan Masukan Konsentrasi
$\frac{F_s}{V}$	Nilai Pada Pengenceran
r_A	Laju pembentukan molar A
r_B	Laju pembentukan molar B
r_C	Laju pembentukan molar A
r_D	Laju pembentukan molar A

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, 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.

DAFTAR SINGKATAN

STR	=	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>
CSTR	=	<i>Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor</i>
PI	=	<i>Proportional Integral</i>
PID	=	<i>Proportional Integral Derivative</i>
LQR	=	<i>Linear Quadratic Regolator</i>
SMC	=	<i>Sliding Mode Controller</i>
FLC	=	<i>Fuzzy Logic Controller</i>
RS	=	<i>Rise Time</i>
TS	=	<i>Time Settling</i>
ESS	=	<i>Error Steady State</i>
TD	=	<i>Delay Time</i>
TP	=	<i>Peak Time</i>
FIS	=	<i>Fuzzy Inference System</i>
Kp	=	<i>Konstanta Proportional</i>
Ki	=	<i>Konstanta Integral</i>
Kd	=	<i>Konstanta Derivative</i>
MOM	=	<i>Metode OF Maximum</i>
Matlab	=	<i>Matrix Laboratory</i>
TF	=	<i>Transfer Funcation</i>
E	=	<i>Error</i>
DE	=	<i>Delta Error</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan zaman begitu pesat, perkembangan zaman membuat masyarakat dihadapkan berbagai pilihan dalam mengonsumsi kebutuhan sehari-hari. Adanya perkembangan industri membuat perkembangan makanan dan minuman mengalami perkembangan yang pesat [1]. Dengan adanya perkembangan industri menjadikan sektor industri Indonesia menjadi salah satu sektor andalan bagi perkembangan perekonomian bangsa Indonesia. Pertumbuhan dan kemajuan pada sektor industri dapat memacu berkembangnya perekonomian bangsa Indonesia. Salah satu sektor industri yang memiliki peranan penting yaitu industri makanan dan minuman [2].

Menurut data Kementerian Perindustrian, produk makanan dan minuman Indonesia memiliki nilai ekspor tertinggi di industri manufaktur. Kementerian Perindustrian dan Informatika menyebutkan, industri makanan dan minuman tumbuh sebesar 7,91% pada 2019, melampaui pertumbuhan ekonomi nasional sebesar 5,17% [3]. Dalam sektor industri ada proses kimia makanan dan minuman, sektor industri memiliki proses kimia industri, seperti proses pencampuran. Proses pencampuran terjadi dalam tangki reaktor. Reaktor adalah tangki yang memiliki fungsi untuk mencampur dua atau lebih fluida menjadi produk yang bermanfaat. Salah satu sistem tangki berpengaduk yang digunakan adalah *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) [4].

CSTR ialah sebuah unit operasi terpenting dalam industri kimia, dengan perilaku nonlinier. CSTR adalah reaktor kimia berbentuk tangki berpengaduk berbentuk silinder dengan diameter tertentu, dimana proses yang terjadi di dalam tangki tersebut digunakan untuk mencampur dua atau lebih fluida [5]. CSTR merupakan salah satu reaktor yang dapat digunakan untuk mencampur dua atau lebih fluida dengan menggunakan pengaduk, dimana pengadukan ini dapat menghasilkan reaksi kimia yang berbeda, dimana reaktor kimia beroperasi pada suhu konstan (*isothermal*) dan volume konstan [6].

CSTR merupakan sistem yang memiliki perilaku multivariabel nonlinier karena terdapat beberapa variabel kontrol seperti konsentrasi, *level*, suhu, tekanan, dan laju aliran [7]. Salah satu variabel CSTR yang perlu dikendalikan adalah konsentrasi, konsentrasi harus dikontrol agar produk yang tidak diinginkan tidak terjadi [6]. Dalam suatu industri proses produksi merupakan sebuah kegiatan vital, ketersediaan bahan baku di industri sangat erat

kaitannya dengan jumlah bahan baku yang harus disediakan, ketersediaan bahan baku dalam dunia industri sangat penting demi pengaruh kelancaran kegiatan produksi. Perhitungan jumlah bahan baku harus tepat agar tidak terjadi kelebihan atau kekurangan bahan baku [8].

Konsentrasi perlu dikendalikan karena respon sistem sering tidak mencapai *setpoint* yang diinginkan [9]. Pengendalian konsentrasi pada CSTR diharapkan mampu untuk mendapatkan tujuan kualitas rasa standar yang diinginkan. Kualitas rasa pada CSTR dipengaruhi oleh konsentrasi masing-masing fluida yang dicampur kualitas rasa dalam proses dipengaruhi oleh konsentrasi bahan-bahan fluida yang tercampur dalam proses tersebut. Konsentrasi dari bahan bahan yang dicampur akan berpengaruh bagi kualitas produk yang dihasilkan [10]. Salah satu kerugiannya ialah menyebabkan kerugian pada industri tersebut. Oleh sebab itu diperlukan sebuah pengendali yang mampu menyelesaikan permasalahan tersebut.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi dalam proses industri, maka perlu adanya sistem kendali otomatis. Dalam penggunaannya, pengendalian secara otomatis mampu mengatur proses produksi untuk menghasilkan kualitas produk yang diinginkan. Pemilihan pengendali yang tepat sangat berpengaruh pada keberhasilan sistem kendali yang dirancang. Pengendali yang tepat adalah pengendali yang mampu menyelesaikan persoalan sistem agar *output* yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan dan menjaga keluaran sistem dari berbagai gangguan, seperti pencapaian dan perubahan pada *setpoint*, mengatasi gangguan, dan memperbaiki performansi dari *plant* [7].

Dalam proses industri sudah banyak sistem pengendalian yang digunakan. Masalah ini dibuktikan dengan banyaknya pengendali yang telah digunakan seperti pengendali LQR (*Linear Quadratic Regulator*), MRAC (*Model Reference Adaptive Control*), pengendali PID, SMC (*Sliding Mode Controller*), dan kendali cerdas seperti FLC (*Fuzzy Logic Controller*). Dari beberapa pengendali yang telah digunakan, maka dalam peroses industri perlu dipikirkan pengendali yang tepat untuk mengendalikan kebutuhan sistem agar proses industri tersebut terpenuhi.

Salah satu cara untuk memilih pengendali yang tepat adalah melakukan studi literatur dengan menganalisa hasil penelitian sebelumnya. Pada suatu penelitian yang bertujuan untuk menentukan nilai parameter K_c dan T_i dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan kontrol PI pada tekanan CSTR. Metode RSM digunakan untuk mendapatkan rentang K_c dan nilai tuning T_i guna untuk mendapatkan waktu yang optimal. Hasilnya menunjukkan kinerja yang baik, yaitu hasil *tuning* dapat dibuktikan dari hasil pengujian menggunakan metode RSM $k_c=1,85$ dan $t_i=1,15$ parameter, dan kecepatan respon

cepat pada saat yang sama Interferensi adalah 0,6625 menit. Kontrol tekanan tidak berpengaruh signifikan terhadap produk [11].

Pada penelitian lain yang bertujuan untuk mengoptimalkan parameter PID secara *online* dengan melihat perubahan yang terjadi pada *plant* dan gangguan yang timbul menggunakan kontrol berbasis logika *fuzzy* dan dilakukan pengujian pada motor BLDC yang merupakan sistem non linier. Pada Penelitian ini peneliti melakukan pengujian dengan beban dan tanpa beban serta pengujian perubahan *setpoint*. Dari simulasi tersebut menghasilkan karakteristik respon sistem kendali PID dengan nilai yaitu 0,025 detik pada *rise time*, *settling time* 0,1625 detik, dan 15,98% *overshoot*. Sedangkan *auto tuning fuzzy* PID menghasilkan 0,0025 detik pada *rise time*, 0,057 detik pada *settling time*, dan *overshoot* 5,42%. Hasil karakteristik respon sudah cukup stabil, namun dengan aturan *fuzzy* yang banyak yaitu 49 aturan [12].

Pada penelitian lain, peneliti menggunakan pengendali *Self Tuning Fuzzy* PI untuk mengontrol level air dan temperatur uap pada *steam drum boiler*, yang dapat mengurangi *overshoot* sebesar 3,4% dan mengurangi *error* sebesar 55,8%, sedangkan sistem temperatur dapat mempercepat *rise time* 0,6 menit dan *settling time* 7,6 menit. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa penggunaan logika *fuzzy* PI yang berfungsi sebagai *auto tuning* dapat memperbaiki respon *transient* dan respon *steady state*. Selain itu pengendali *self tuning fuzzy* PI juga dapat mengatasi gangguan yang terjadi secara tiba-tiba dan perubahan *setpoint* dengan mencari nilai *kp* dan *ki* yang tepat [13].

Penelitian yang telah dilakukan pada sistem kendali kecepatan sepeda listrik, menggunakan metode *self Tuning*-PI dengan metode logika *fuzzy* didapatkan hasil berdasarkan implementasi tanpa beban, didapatkan *output* sistem yaitu *settling time* sebesar 6.9 detik, *overshoot* sebesar 9.3%, dan *error steady state* 0. Sedangkan hasil implementasi dengan beban didapatkan *output* sistem yaitu *settling time* sebesar 4.9 detik, *overshoot* 0, dan *error steady state* 0. Sistem kontrol metode *self tuning* PI dengan metode logika *fuzzy* digunakan untuk mencari parameter yang relevan dengan kontrol PI agar dapat beradaptasi dengan beban. Pada penelitian tersebut peneliti membandingkan performansi sistem dengan kondisi tanpa beban dan kondisi berbeban [14].

Peneliti lain yang menggunakan metode *auto tuning* Pid logika *fuzzy* pada sistem suspensi aktif tipe paralel *non linear* kendaraan seperempat penelitian ini memberi gangguan *step*, gangguan gundukan, gangguan random penggunaan pengendali *auto tuning* pid menggunakan logika *fuzzy* mampu mengatasi gangguan dan mampu menghasilkan performansi yang lebih baik [15].

Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Khadari Iqlamah dengan menggunakan pengendali PID *tuning* menggunakan logika *fuzzy* menunjukkan bahwa respon transien memiliki nilai *undershoot* yang cukup tinggi, waktu untuk mencapai nilai kecepatan yang ditetapkan lebih cepat, dan *ess* yang lebih rendah. Persentase nilai *overshoot* dan *undershoot* berkisar antara 2% hingga 5%. Dapat disimpulkan bahwa kontroler *fuzzy self-tuning* PID cukup baik dalam menangani perubahan, kenaikan atau penurunan pengaturan kecepatan saat sistem sedang berjalan [16].

Penelitian lain yang menggunakan metode *tuning* PID untuk mengatur kecepatan motor DC berbasis PLC. Pada penelitian ini melakukan analisis perbandingan hasil keluaran metode *tuning* yaitu *zigler nichols* dan *trial-error*. Dari hasil simulasi didapat menggunakan metode *tuning trial-error* dengan nilai $K_p=100$, $T_i=1$ dan $T_d=2$, nilai *rise time* 1 detik dengan *ess* 99. Sedangkan untuk metode *ziegler nichols* dengan nilai $K_p=210$, $T_i=2$ dan $T_d=1$, *rise time* 0,5 detik dan *ess* 599. Namun untuk metode *ziegler nichols* tersebut masih terdapat *overshoot* yang cukup besar [17].

Berdasarkan studi literatur dan hasil simulasi ICSTR secara *open loop* masih belum mencapai *setpoint* yang diinginkan dan masih memiliki *error* yang cukup besar serta *respon transient* yang belum optimal. Oleh sebab itu dipilih pengendali PI *Tuning-Fuzzy Logic*. Kontroler *Proporsional Integral* digunakan untuk pengendalian Konsentrasi pada *Isothermal CSTR*. Hampir 80% kontroler PID yang terpasang di industri menggunakan kontrol PI dalam operasinya, hal ini disebabkan karena permasalahan yang terjadi dapat diatasi [13]. Sistem kontrol PI tersebut digunakan untuk memperbaiki respon sistem dan menghilangkan *error steady state* [17]. Pada penelitian ini digunakan metode *tuning heuristic* untuk perancangan nilai k_p dan k_i .

Pengendali PI diperlukan untuk mengontrol konsentrasi pada sistem ICSTR. Namun pengontrol PID konvensional sering tidak mendapatkan hasil yang tepat untuk sistem non linear, oleh karena itu parameter PID perlu melakukan *tuning* secara otomatis [18][19]. Kelebihan *tuning* tersebut cocok digunakan pada sistem ICSTR karena memiliki sistem non linear [7]. Metode *tuning* yang digunakan adalah *heuristic*, namun metode *tuning* tersebut harus selalu di *tuned up* apabila terjadi perubahan pada sistem, perubahan tersebut menyebabkan terjadinya *tuning* kembali [20]. Untuk menutupi kekurangan tersebut logika *fuzzy* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk *tuning* kontroler PID. *Self-tuning fuzzy control* merupakan suatu algoritma *fuzzy* yang mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan atau *plant* [21][22]. Kelebihan dari pengendali cocok untuk digunakan pada sistem ICSTR memiliki karakteristik yang rentan terhadap perubahan parameter-parameter lingkungan.

Pada penelitian ini peneliti melakukan perancangan menggunakan pengendali *Tuning* menggunakan logika *fuzzy*, metode *fuzzy* yang digunakan adalah mamdani, untuk penalaan nilai *input* yaitu *error* dan *delta error* dan *output* yaitu K_p dan K_i dengan melakukan lima kali percobaan menggunakan metode heuristik untuk mendapatkan hasil respon sistem yang diinginkan penulis melakukan berulang kali percobaan sampai hasil yang diinginkan dengan 5 percobaan terakhir, kemudian untuk mendapatkan respon transien sistem dengan cara melakukan *zoom*. Berdasarkan masalah ini penulis tertarik mengaplikasikan “Desain Kendali *Tuning* PI menggunakan Logika *Fuzzy* untuk mengendalikan Konsentrasi pada *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*” dengan tujuan agar produk yang tidak diinginkan tidak terjadi dan mampu mendapatkan kualitas produk yang diinginkan serta mendapatkan respon sistem *transient* yang optimal dan mampu mengurangi *error steady state*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil keluaran sistem ICSTR ketika ditambahkan pengendali *Tuning* PI menggunakan logika *Fuzzy*?
2. Apakah pengendali *Tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* mampu mentuning otomatis dengan cara melihat keluaran K_p dan K_i saat menggunakan pengendali *Tuning* PI?
3. Apakah penggunaan logika *Fuzzy* PI berfungsi sebagai *Tuning* yang dapat memperbaiki respon *transient* dan respon *steady state*?
4. Bagaimana performansi sistem ketika diberi gangguan sinyal kendali?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat sistem mampu mencapai *setpoint* dan menghasilkan respon sistem yang optimal saat menggunakan pengendali *Tuning* PI menggunakan logika *Fuzzy*.
2. Mengetahui hasil simulasi dari pengendali *Tuning* PI menggunakan logika *Fuzzy* yang mampu mentuning secara otomatis.
3. Mengetahui hasil penggunaan logika *Fuzzy* PI ketika melakukan *auto* Tuning pada saat memperbaiki respon *transient* dan respon *steady state*.
4. Membuat sistem mampu mempertahankan keadaan *steady state* saat diberikan gangguan sinyal kendali.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu luas maka penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. Pemodelan sistem ICSTR berdasarkan penelitian sebelumnya [23].
2. Variabel yang dikendalikan adalah konsentrasi, dan parameter suhu ($80-85^{\circ}\text{C}$) [5] diasumsikan konstan.
3. Metode *fuzzy* yang digunakan yaitu metode *fuzzy* mamdani.
4. Penentuan lebar fungsi keanggotaan *fuzzy* menggunakan *Tuning* PI.
5. Penelitian ini tidak membahas hardware.
6. Pengujian dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab 2015B.
7. Untuk mencari nilai respon transient menggunakan cara pembesaran layar (*zoom*).
8. Peneliti memberikan gangguan terhadap pengendali.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan sebuah rancangan sistem kendali yang baik untuk mengendalikan konsentrasi pada sistem ICSTR.
2. Dapat menjadikan referensi untuk pengaplikasiannya pada proses industri dan memberikan kemudahan dalam penyelesaian permasalahan umum yang terjadi pada proses pengendalian konsentrasi pada sistem ICSTR.
3. Sebagai referensi tambahan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas Akhir ini, penulis melakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori secara referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan. *Literature review* ini berguna untuk mencari referensi dan teori yang relevan terkait dengan masalah yang akan diselesaikan. Referensi yang terkait dengan “Desain kendali *Tuning PI* menggunakan *Fuzzy Logic* untuk mengendalikan konsentrasi pada sistem *Isothermal Continuous Stired Tank Reactor (CSTR)*”.

Dalam penelitian tentang pengendalian kosentrasi pada sistem ICSTR menggunakan 2 pengendali *Hybrid Sliding Mode Control (SMC)* dan *Fuzzy Logic Controller* dalam mengurangi *Error Steady State*. Pengendali *hybrid sliding mode control* dan *fuzzy logic controller* mampu mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan sebesar 1 g.mol/litter dengan *setling time* 3.1174 detik, sedangkan pengendali *sliding mode control* memiliki *error steady state* sebesar 0.0004 g.mol/litter [23]. Dalam penelitian ini mempunyai keterkaitan *plant* sistem ICSTR dengan penelitian penulis lakukan namun berbeda pengendali.

Penelitian lain yang berkaitan dengan sistem ICSTR menggunakan beberapa pengendali yaitu pengendali *Propotional (P)*, *Proportional Integral (PI)*, *Proportional Integral Derivative (PID)*, dan *fuzzy logic*, pengendalian menggunakan kendali PID mengalami ketidakstabilan pada *rise time*. Pada penelitian ini pengendali PID masih memiliki kekurangan dan dianggap belum cukup baik dibandingkan dengan pengendali *fuzzy logic* karena ketika menggunakan pengendali *fuzzy logic* mampu menghilangkan *delay time* dan *inverse response* [9]. Dalam penelitian ini mempunyai keterkaitan *plant* yang sama dengan penelitian penulis lakukan yaitu berkaitan dengan sistem ICSTR namun berbeda pengendali.

Pada penelitian lain menggunakan *auto tuning fuzzy PID* untuk kecepatan pengendalian BLDC Motor. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan parameter PID secara *online* dengan memperhatikan perubahan yang terjadi pada *plant* dan gangguan yang timbul menggunakan kontrol berbasis logika *fuzzy* dan diujikan pada motor BLDC yang merupakan sistem non linier. Penelitian ini melakukan pengujian dengan beban dan tanpa beban serta pengujian perubahan *setpoint*. Dari hasil penelitian tersebut proses pengendali kontrol sistem *tuning PID* dengan logika *fuzzy* dapat meningkatkan kinerja pengendalian PID, terbukti dari hasil karakteristik respon yang stabil. Namun masih dengan aturan *fuzzy* yang cukup banyak

dengan 49 aturan [12]. Dalam penelitian ini mempunyai keterkaitan pengendali dengan penelitian penulis lakukan yaitu pengendali *auto tuning* hanya saja penulis menggunakan pengendali *auto tuning* PI dengan menggunakan logika *fuzzy* dan memiliki perbedaan pada sistem penelitian yang dilakukan.

Pada penelitian tentang pengendalian *steam drum boiler* menggunakan pengendali *Self Tuning Fuzzy* PI, variabel yang dianalisa yaitu ketinggian air dan temperatur uap. Penggunaan pengendali *Self Tuning Fuzzy* PI mampu menyesuaikan parameter P dan I pada pengendali konvensional PI, sehingga ketika terjadi gangguan sistem tetap bekerja secara optimal. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pengendali dapat bekerja optimal dengan mengurangi *overshoot* serta *error steady state* pada setiap variabel yang dikendalikan. Pengendali tersebut juga dapat mengatasi perubahan *setpoint* dengan mencari nilai k_p dan k_i yang tepat [13]. Dalam penelitian ini mempunyai keterkaitan dengan penelitian penulis lakukan yaitu memiliki fokus yang sama untuk mampu mengatasi gangguan yang terjadi sehingga sistem dapat berkerja secara optimal.

Penelitian lain tentang pengendali motor servo untuk sistem *tracking* bola menggunakan *self tuning* PI menggunakan logika *fuzzy*. Metode logika *fuzzy* digunakan untuk menentukan parameter K_p dan K_i pada pengendali PI, pada penelitian tersebut membandingkan kinerja kontroler *self tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* dengan kontroler PI. Penelitian ini dilakukan dengan dua percobaan. Dari hasil simulasi disimpulkan bahwa pengendali *self tuning* lebih baik dibandingkan kontroler PI, namun pada *self tuning* respon mengalami *undershoot* dan pada PI mengalami *overshoot* [24]. Dalam penelitian ini mempunyai keterkaitan dengan penelitian penulis lakukan yaitu menggunakan logika *fuzzy* perbedaannya terletak pada *plant* dan penulis menggunakan pengendali *auto tuning* PI.

Peneliti lain yang menggunakan metode *auto tuning* PID logika *fuzzy* pada suspensi aktif tipe paralel *non linear* kendaraan seperempat penelitian ini memberi gangguan *step*, gangguan gundukan, gangguan random penggunaan dari penelitian ini dapat disimpulkan pengendali *auto tuning* PID menggunakan logika *fuzzy* mampu mengatasi gangguan dan mampu menghasilkan performansi yang lebih baik [15]. Dalam penelitian ini mempunyai keterkaitan *plant* dengan penelitian penulis lakukan yaitu bersifat *non linear* hanya saja penulis membahas *plant* ICSTR.

Penelitian lain yang membahas tentang Perbandingan metode *Tuning PID* pada pengaturan kecepatan Motor DC berbasis PLC. Penelitian tersebut melakukan analisis perbandingan metode *tuning zigler nichols* dan metode *trial-error*. Hasil perbandingan performansi sistem menunjukkan metode *tuning trial-error* memiliki karakteristik yang stabil dibanding dengan metode *tuning zigler nichols* dengan *rise time* 1 detik dan *ess* sebesar

- 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.

99, namun pada metode *tuning zigler nichlos* masih terdapat *overshoot* yang cukup besar [25]. Dalam penelitian ini mempunyai keterkaitan dengan penelitian penulis lakukan yaitu memiliki metode *trial and error* perbedaannya peneliti menggunakan pengendali *auto tuning* menggunakan logika *fuzzy* untuk mengendalikan konsentrasi pada sistem ICSTR.

Berdasarkan beberapa studi literatur yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, beberapa sistem telah dianalisa menggunakan beberapa pengendali, namun masih terdapat *error steady state* dan respon sistem yang belum optimal. Dari studi literatur, pengendali *Tuning* menggunakan Logika *Fuzzy* cukup baik dalam memperbaiki respon sistem. Beberapa studi literatur yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, beberapa sistem telah dianalisa menggunakan beberapa pengendali, tetapi masih terdapat *error steady state* dan respon sistem yang belum optimal. Dari studi literatur, pengendali *PI tuning* menggunakan logika *fuzzy* cukup baik dalam memperbaiki hasil respon.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Continous Sttired Tank Reactor (CSTR)*

CSTR adalah reaktor kimia berbentuk tangki berpengaduk, biasanya digunakan untuk mencampur dua atau lebih fluida. Aplikasi CSTR banyak digunakan pada industri makanan, minuman, bioteknologi atau industri yang membutuhkan proses pencampuran fluida. CSTR adalah sistem nonlinier multivariabel, yang diwakili oleh banyak variabel yang dapat dikontrol, seperti konsentrasi, *level*, suhu, tekanan, dan laju aliran [7]. Salah satu variabel CSTR yang perlu dikendalikan adalah konsentrasi, konsentrasi harus dikontrol agar produk yang tidak diinginkan tidak terjadi [6].

Dalam suatu indutri proses pruduksi merupakan sebuah kegiatan vital, ketersediaan bahan baku di industri sangat erat kaitannya dengan jumlah bahan baku yang harus disediakan, ketersediaan bahan baku dalam dunia industri sangat penting demi pengaruh kelancaran kegiatan produksi. Perhitungan jumlah bahan baku harus tepat agar tidak terjadi kelebihan atau kekurangan bahan baku [8]. Kualitas rasa pada CSTR dipengaruhi oleh konsentrasi masing-masing fluida yang dicampur kualitas rasa dalam proses dipengaruhi oleh konsentrasi bahan-bahan fluida yang tercampur dalam proses tersebut. Konsentrasi dari bahan bahan yang dicampur akan berpengaruh bagi kualitas produk yang dihasilkan. Salah satu kerugiannya ialah menyebabkan kerugian pada industri tersebut.

Karakteristik reaktor adalah dapat bekerja dalam keadaan *steady state*, dengan aliran reaktan dan produk yang terus menerus [26].



Gambar 2. 1 Reaktor CSTR

Reaktor terdiri dari pengaduk yang berputar terus menerus, sehingga dapat diasumsikan bahwa larutan dalam reaktor tercampur sempurna. Keberhasilan proses pengolahan tergantung pada efektifitas pengadukan dan pencampuran cairan dalam proses. Istilah pengadukan dan mencampur sebenarnya bukan sinonim satu sama lain. pengadukan mengacu pada pergerakan material dalam wadah untuk menurun dengan cara tertentu, dan pergerakan ini biasanya memiliki pola siklus tertentu. Pencampuran adalah suatu peristiwa yang menyebabkan bahan terjadi secara acak, di mana bahan yang satu berdifusi ke bahan lain, dan sebaliknya, dan bahan-bahan tersebut sebelumnya dipisahkan menjadi dua fase atau lebih. Istilah pencampuran digunakan dalam berbagai operasi di mana keseragaman bahan campuran sangat bervariasi. Tujuan pengadukan adalah untuk menanggukkan partikel padat, mengumpulkan cairan yang dapat menjadi cair (*miscible*), dan membubarkan (mendispersi) gas dalam cairan dalam bentuk gelembung-gelembung kecil [26].

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi, yaitu:

1. Konsentrasi

Jika konsentrasi reaktan lebih besar, reaksi kimia akan berlangsung lebih cepat.

2. Luas permukaan

Semakin besar luas permukaan yang dikontak oleh zat pereaksi, semakin besar frekuensi tumbukan dan semakin cepat kecepatan reaksi.

3. Suhu

Dengan meningkatnya suhu, energi kinetik molekul zat yang bereaksi akan meningkat, sehingga reaksi akan lebih cepat.

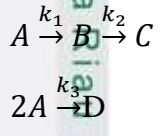
4. Katalis

Katalis dapat mengurangi energi aktivasi dan meningkatkan langkah-langkah reaksi.

2.2.2 Modeling and Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

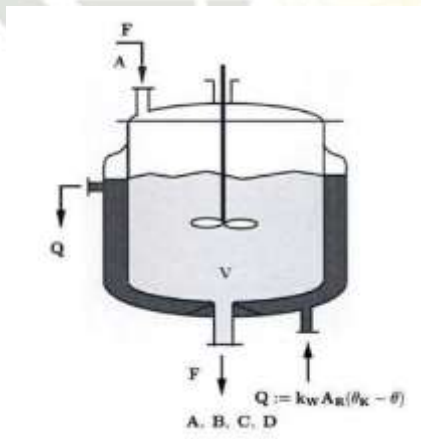
ICSTR ialah sejenis CSTR yang memiliki fungsi untuk mencampurkan dua fluida atau lebih menjadi produk, suhu CSTR ini dianggap konstan [6]. Proses pencampuran yang terjadi pada CSTR sangat di pengaruhi oleh suhu, dimana suhu tersebut di peroleh dari uap panas yang mengalir di dalam dinding tangki melalui pipa sehingga suhu dalam tangki tersebut harus dijaga agar tetap berada pada suhu konstan [27].

Skema reaksi terdiri dari reaksi ireversibel aliran umpan hanya akan berisi komponen A [6]. Suhu umpan sama dengan suhu larutan di dalam reaktor maupun suhu larutan keluar reaktor maupun suhu larutan keluar dari reaktor [6]. ICSTR memiliki reaksi, berikut skema yang disebut dengan reaksi Van de Vusse [6].



Dari skema reaksi Van de Vusse ditunjukkan tahapan-tahapan terhadap laju molaritasnya. Dari skema reaksi Van de Vusse didapatkan konstantanya sebagai berikut [6]:

$$\begin{aligned}
 k_1 &= 50h^{-1} = 0.83 \text{ min}^{-1} \\
 k_2 &= 100h^{-1} = 1.66 \text{ min}^{-1} \\
 k_3 &= 10moll^{-1}h^{-1} = 0.166 \text{ moll}^{-1} \text{ min}^{-1}
 \end{aligned}$$



Gambar 2. 2 Representasi skema pada reaktor [6]

Konsentrasi umpan pada *steady state* adalah $C_{Afs} = 10gmoll^{-1}$ persamaan untuk keseimbangan keseluruhan material yang digunakan [6].

$$\frac{d(V\rho)}{dt} = F_{ip} - F_p \tag{2.1}$$

Jadi

$$F = F_i \tag{2.2}$$

Komponen keseimbangan material juga dapat menggunakan [6]

$$\frac{d(C_{Af})}{dt} = F(C_{Af} - C_A) - V k_1 C_A - V k_3 C_A^2 \quad (2.3)$$

Untuk menyederhanakan persamaan (2.3) bisa dilakukan dengan menggunakan persamaan yang ada pada (2.4) berikut adalah persamaan untuk kesetimbangan materialnya [6].

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{F}{V} (C_{Af} - C_A) - r_A \quad (2.4)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - r_B \quad (2.5)$$

Tingkat pembentukan molar untuk setiap komponen (per unit volume) sebagai berikut [6].

$$r_A = -k_1 C_A - k_3 C_A^2 \quad (2.6)$$

$$r_B = k_1 C_A - k_2 C_B \quad (2.7)$$

Sementara untuk konsentrasi *steady state* A dan B didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut [6].

$$C_{AS} = \frac{-(k_1 + \frac{F_S}{V}) + \sqrt{(k_1 + \frac{F_S}{V})^2 + 4k_3 \frac{F_S}{V} C_{AfS}}}{2k_3} \quad (2.8)$$

$$C_{BS} = \frac{k_1 C_{AS}}{\frac{F_S}{V} + k_2} \quad (2.9)$$

Keadaan ruang model linier direpresentasikan sebagai berikut [6]

$$x = Ax + Bu$$

$$Y = Cx + Du$$

Untuk variabel *state* di representasikan dengan matriks A sebagai berikut [6]

$$x = \begin{bmatrix} C_{AS} \\ C_{BS} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Untuk variabel *output* di representasikan dengan matriks B sebagai berikut [6]

$$y = \begin{bmatrix} C_{AS} \\ C_{BS} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Variabel *input* di representasikan sebagai berikut [6]

$$u = \begin{bmatrix} \frac{F}{V} \\ -\frac{F_S}{V} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Dua persamaan fungsional dinamis direpresentasikan sebagai [6]

$$\frac{dC_A}{dt} = f_1 \left(C_A, C_B, \frac{F}{V} \right) = \frac{F}{V} (C_{Af} - C_A) - k_1 C_A - k_3 C_A^2 \quad (2.13)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = f_2 \left(C_A, C_B, \frac{F}{V} \right) = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - k_2 C_B \quad (2.14)$$

Elemen ruang pada *state space* Matriks A ditentukan oleh

$$A_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right|_{x_s, u_s} \quad (2.15)$$

$$A_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_A} \right|_{X_s, U_s} = -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} \quad (2.16)$$

$$A_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_B} \right|_{X_s, U_s} = 0 \quad (2.17)$$

$$A_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial C_A} \right|_{X_s, U_s} = k_1 \quad (2.18)$$

$$A_{22} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial C_B} \right|_{X_s, U_s} = -\frac{F_s}{V} k_2 \quad (2.19)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} & 0 \\ k_1 & \frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Elemen pada ruang *state space* Matriks B ditentukan oleh

$$B_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_j} \right|_{X_s, U_s} \quad (2.21)$$

$$B_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_1} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(\frac{F_s}{V}\right)} \right|_{X_s, U_s} = C_{Afs} - C_{AS} \quad (2.22)$$

$$B_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(-\frac{F_s}{V}\right)} \right|_{X_s, U_s} = \frac{F_s}{V} \quad (2.23)$$

$$B_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_1} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(\frac{F_s}{V}\right)} \right|_{X_s, U_s} = -C_{BS} \quad (2.24)$$

$$B_{22} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(-\frac{F_s}{V}\right)} \right|_{X_s, U_s} = 0 \quad (2.25)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

2.3 Pengertian Sistem Kendali

Sistem kendali bisa diartikan sebagai memerintah, mengatur, dan mengarahkan secara efektif dan dinamis. Desain sistem kendali disesuaikan dengan keinginan siperancang [28]. Saat ini, pada prinsipnya dan penggunaan pengendali otomatis telah ditawarkan banyak kinerja optimal untuk sistem dinamis meningkatkan produktivitas, mencapai operasi manual yang sering dilakukan berulang kali, begitu banyak insinyur memiliki pemahaman tentang kontrol otomatis [29]. Berikut istilah dasar dalam sistem kendali yaitu:

1. Variabel terkendali (*controlled variable*) dan variabel manipulasi (*manipulated variable*). Variabel terkendali adalah besaran atau kondisi yang diukur dan dikendalikan. Variabel manipulasi adalah suatu kondisi yang diubah oleh kendali

Saat merancang pengendali PI, hal yang dilakukan adalah menyesuaikan parameter P dan I untuk respons sinyal keluaran sistem terhadap masukan yang diberikan sesuai keinginan. Pengaruh perubahan parameter PI pada sistem kontrol ditunjukkan pada tabel Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Respon pengendali PI terhadap perubahan parameter [31].

Tanggapan <i>Close Loop</i>	Waktu Naik	<i>Overshoot</i>	Waktu Turun	<i>Error Steady State</i>
<i>Proportional</i> (K_p)	Meningkat	Meningkat	Perubahan Kecil	Meningkat
<i>Integral</i> (K_i)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang

Untuk mengendalikan PI, salah satu metode yang sering digunakan adalah metode *trial and error*. Hal ini karena parameter K_p dan K_i tidak independen. Untuk memperoleh prosedur pengendalian yang baik diperlukan *trial and error* dengan kombinasi proporsionalitas dan integrasi untuk mendapatkan nilai K_p dan K_i yang diinginkan[30].

2.4 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan sistem cerdas yang ditemui oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965. Fungsi *fuzzy* membedakan satu kelompok dari yang lain sesuai dengan derajat keanggotaan dari batas yang tidak tentu. Teori himpunan ialah pengembangan dari teori himpunan statis, yang dibuat berlandaskan cara manusia menguasai nilai- nilai yang tidak tentu. Nilai keanggotaan dalam *fuzzy* tidak cuma 0 ataupun 1, namun pula nilai antara 0 serta 1. Misalnya, temperatur kamar, cuma terdapat 2 nilai dalam himpunan senantiasa, ialah dingin merupakan 0 serta panas merupakan 1, dingin, hangat, serta wajar. Perancangan kendali *fuzzy* dipecah jadi 3 tahapan ialah *fuzzy*, sistem inferensi *fuzzy* (*fuzzy inference system*) serta eliminasi *fuzzy* (*deFuzzification*). Hasil dari pembedahan ini tergantung pada variabel *fuzzy*, batasan himpunan *fuzzy* serta variabel *non-fuzzy*:

1. *Knowledge Base*, Knowledge Base, merupakan ketentuan ataupun rule dari *fuzzy* dalam bentuk statment IF- THEN.
2. *Fuzzyfication*, ialah proses guna mengganti masukan sistem yang memiliki nilai konstan jadi variabel *linguistic* memakai guna keanggotaan yang ditaruh dalam basis pengetahuan *fuzzy*.
3. *Inference system*, merupakan proses buat mengganti masukan *fuzzy* jadi keluaran *fuzzy* dengan metode mengikuti ketentuan IF- THEN yang sudah ditetapkan pada basis pengetahuan *fuzzy*.

2.5.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* merupakan himpunan yang menyatakan keadaan dan kondisi dalam suatu sistem *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* dibuat berdasarkan pada pernyataan yang digunakan untuk memperlebar jangkauan fungsi dari karakteristik yang ditentukan hingga fungsi tersebut akan menyangkut bilangan *real* dengan *range* (0,1). Dalam himpunan *fuzzy* nilai keanggotaannya selalu berada di 0 atau 1 tapi juga terdapat nilai yang berada diantara nilai 0 dan 1 tersebut. Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu kelompok yang mewakili situasi atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: MUDA, PAROBAYA, TUA.
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan besar kecilnya suatu variabel seperti: 40, 25, 50, dan seterusnya.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, yaitu:

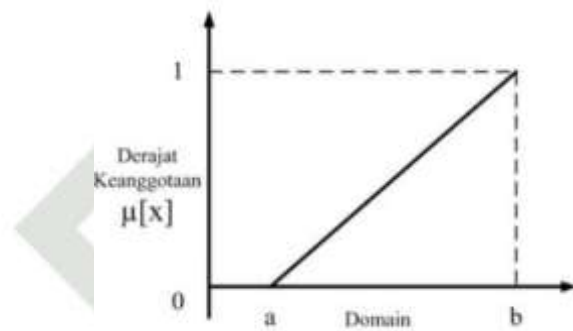
1. Variabel *Fuzzy*, Variabel *Fuzzy* adalah variabel yang akan dibahas dalam sistem *fuzzy* seperti: kecepatan, tegangan, dan temperatur
2. Himpunan *Fuzzy*, Himpunan *Fuzzy* merupakan himpunan yang menyatakan keadaan dan kondisi dalam suatu sistem *fuzzy*.
3. Semesta Pembicaraan, Semesta pembicaraan adalah seluruh nilai yang dibolehkan dalam dalam sistem *fuzzy* dengan kata semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan *real* yang selalu naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta bisa bernilai positif maupun negatif
4. Domain, Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang dibolehkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy* [32]. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain juga bisa bernilai positif maupun negatif
5. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*), Fungsi Keanggotaan adalah kurva yang menunjukkan pemetaan pada titik-titik input yang telah ditentukan ke nilai keanggotaan yang mana telah ditentukan rangenya [32]. Fungsi keanggotaan bisa berupa segitiga, trapesium, dll.

5.2 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi *fuzzy* (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan masing-masing. Fuzzifikasi adalah pemetaan dari ruang *input* ke himpunan *fuzzy* yang didefinisikan dalam semesta variabel *input* [33]. Berikut himpunan *fuzzy* yang sering digunakan pada proses fuzzifikasi sebagai berikut:

1. Representasi linear naik, pada himpunan ini kenaikan himpunan *fuzzy* dimulai dengan nilai domain pada derajat keanggotaan terendah atau 0 bergerak naik ke kanan menuju nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi [34].

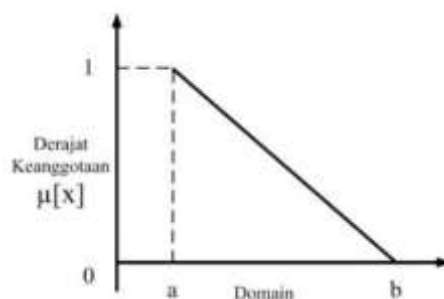
$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2.27)$$



Gambar 2. 4 Representasi Linear Naik [35].

2. Representasi linear turun, pada himpunan ini dimulai dari nilai domain derajat keanggotaan yang tinggi dari kiri turun secara garis lurus menurun ke nilai domain derajat keanggotaan yang lebih rendah [34].

$$u_f(x) = \begin{cases} \frac{(b-x)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (2.28)$$



Gambar 2. 5 Representasi Linear Turun [35].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

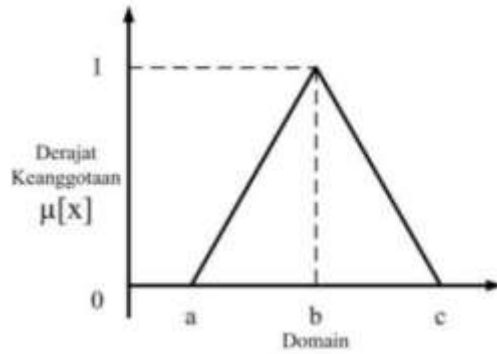
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

3. Representasi segitiga, representasi segitiga adalah penggabungan antara dua garis linear [34], kurva segitiga dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

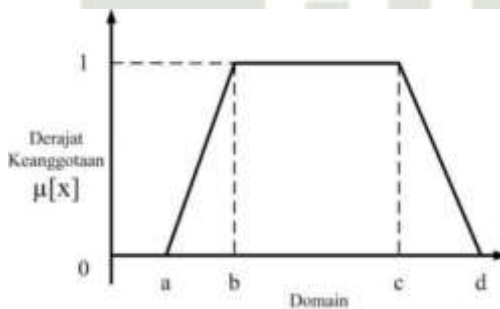
$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } x > c \end{cases} \quad (2.29)$$



Gambar 2. 6 Representasi Segitiga [35].

4. Representasi trapesium, hampir sama dengan kurva segitiga tapi yang membedakan di beberapa titik nilai keanggotaannya 1 [34].

$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ 1, & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{for } x > d \end{cases} \quad (2.30)$$



Gambar 2. 7 Representasi Trapesium [35].

2.5.3 Aturan Fuzzy

Aturan kendali *fuzzy* dinyatakan dengan kumpulan aturan *if-then* yang mana anteseden dan konsekuennya berupa variabel linguistik. Kumpulan aturan kendali *fuzzy* tersebut

merupakan relasi *input-output* dari sebuah sistem [33]. Berikut ini adalah empat metode dalam mendapatkan *rule base* sistem *fuzzy*:

1. Berdasarkan pengalaman para pakar dan pengetahuan kendali dari *engineer*, maksudnya berdasarkan pengoperasian manual dan metode kusioner.
2. Berdasarkan aksi operator kendali, metode ini dilakukan berdasarkan pengamatan manusia dalam pengendalian untuk menentukan input dan *output*-nya.
3. Berdasarkan model *fuzzy* dari sebuah sistem, maksudnya gambaran linguistik karakter yang dinamis dari suatu proses.
4. Berdasarkan pembelajaran, metode ini merujuk pada kemampuan untuk memodifikasi aturan *fuzzy* seperti *self-organizing*

2.5.4 Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani

Sistem inferensi *fuzzy* (*Fuzzy Inference System/FIS*), yaitu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* berbentuk *if-then*, dan penalaran *fuzzy*. Adapun langkah untuk membangun *fuzzy* mamdani adalah sebagai berikut:

1. Tentukan derajat kesepadanan antara himpunan *fuzzy* dan data masukan *fuzzy* untuk setiap variabel *input* dari setiap aturan *fuzzy*, hal ini sering dilakukan dengan menggunakan derajat kemiripan [36].
2. Hitung penyulutan untuk semua aturan yang dibuat mengacu pada derajat sepadanan yang telah dibuat dan penghubung (fungsi logika seperti *AND*, *OR*, dll) yang digunakan oleh variabel *input* dalam bagian premis dari aturan [36].
3. Melakukan implikasi *fuzzy* berdasarkan intensitas penyalaan dan himpunan *fuzzy* yang telah ditentukan untuk semua variabel *input* pada bagian konsekuensi dari setiap aturan. Hasilnya kemudian digabungkan untuk menghasilkan *output* inferensi.

Ada tiga metode yang digunakan untuk interferensi sistem *fuzzy*:

1. Metode *Max* (*Maximum*)

Metode *Max* solusi himpunan *fuzzy* didapatkan dengan cara nilai tertinggi dari aturan *fuzzy*, kemudian nilai tertinggi tersebut digunakan kembali untuk memodifikasi daerah *Fuzzy*, dan dilakukan aplikasi menggunakan operator *OR* ke *output* sistem, maka *output* akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi setiap posisi [34].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \max(u_{sf}(x), u_{sk}(x)) \quad (2.31)$$

2. Metode *Additive* (*Sum*)

Pada metode *sum* untuk mendapatkan himpunan *fuzzy* dengan melakukan *boundedsum* ke semua daerah *fuzzy* [34].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \max(1, u_{sf}(x), u_{sf}(x)) \quad (2.32)$$

3. Metode *Probalistik OR* (Probor)

Metode Probor untuk mendapatkan nilai himpunan *fuzzy* dengan melakukan *product* ke semua daerah *fuzzy* [34].

$$u_{sf}(x) \leftarrow [u_{sf}(x) + u_{kf}(x)] - [u_{sf}(x)u_{kf}(x)] \quad (2.33)$$

2.5.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai *crisp* (tegas) dari himpunan *Fuzzy*, defuzzifikasi merupakan penggambaran dari daerah aksi kendali *fuzzy* untuk meartikan semesta pembicaraan ke daerah *non fuzzy* [33]. Adapun metode untuk defuzzifikasi pada *Fuzzy* mamdani adalah sebagai berikut:

1. Metode *Centroid*

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode *centroid* dengan cara mengambil nilai pusat dari daerah *fuzzy*

$$z = \frac{\int z u(z) dz}{\int u(z) dz} \quad (2.34)$$

2. Metode *Bisector*

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode *bisector* dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang mempunyai nilai keanggotaan setengah dari jumlah keseluruhan nilai keanggotaan di daerah *fuzzy*.

$$z = \int_p^{Rn} u(z) dz \quad (2.35)$$

3. Metode *Min of Maximum* (MOM)

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode MOM dengan cara mengambil nilai rata-rata dari domain yang memiliki nilai keanggotaan *maximal*.

$$z = \sum_{j=i}^m \frac{z_i}{m} \quad (2.36)$$

4. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

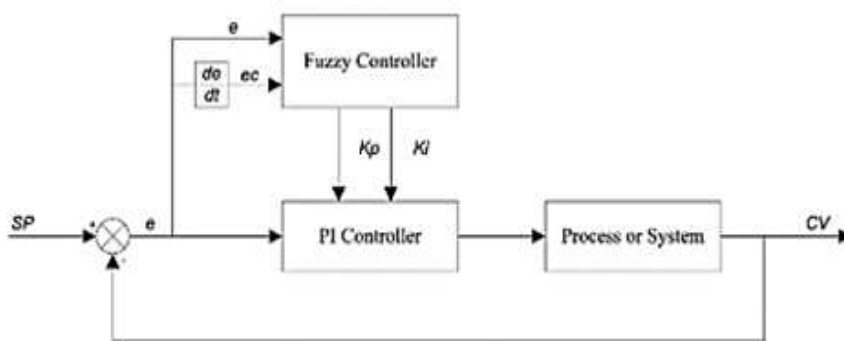
Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode SOM dengan cara mengambil nilai rata-rata terendah dari domain yang memiliki nilai keanggotaan *maximal*.

5. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode LOM dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan *maximal*.

2.6 Pengendali *Tuning* PI Menggunakan Logika *Fuzzy*

Pengendali *tuning* PI dengan logika *fuzzy* adalah kontroler yang didasarkan pada struktur kontrol PI konvensional sebagai basisnya, dimana parameter kontroler PI ditetapkan dahulu dengan metode *tuning* konvensional, seperti metode *close loop* Ziegler-Nichols [37], kemudian diatur secara otomatis oleh kontroler *fuzzy*. Struktur kontroler *fuzzy* yang digunakan pada kontroler *fuzzy*-PI sama dengan kontroler logika *fuzzy*, yang terdiri dari antarmuka fuzzifikasi, basis data pengetahuan, inferensi dan antarmuka defuzzifikasi. Masing-masing komponen dijelaskan secara rinci pada pembahasan Logika *fuzzy*. Diagram blok dari kontroler *Fuzzy*-PI yang diusulkan ditunjukkan pada gambar 2.8, yang menunjukkan variabel *input* dan *output* dari masing-masing kontroler. Dalam kontroler *fuzzy*, variabel *input* adalah *error* (e) dan *error changing rate* (ec atau de/dt), sedangkan variabel *output* adalah K_p dan K_i . Desain kontroler diadaptasi oleh Si dan Wang, yang meliputi himpunan *fuzzy*, nilai linguistik, aturan *fuzzy*, dan persamaan untuk menghitung nilai baru K_p dan K_i pada kontroler PI [38].



Gambar 2. 8 Diagram Pengendali PI *Tuning-Fuzzy Logic* [37]

2.7 Metode Heuristik

Metode Heuristik adalah metode pemecahan masalah yang menggunakan eksplorasi dengan *trial and error*. Metode Heuristik adalah metode untuk menemukan solusi melalui analisis. Metode Heuristik ini dirancang dengan mengubah parameter sesuai dengan kinerja sistem yang akan dikontrol.

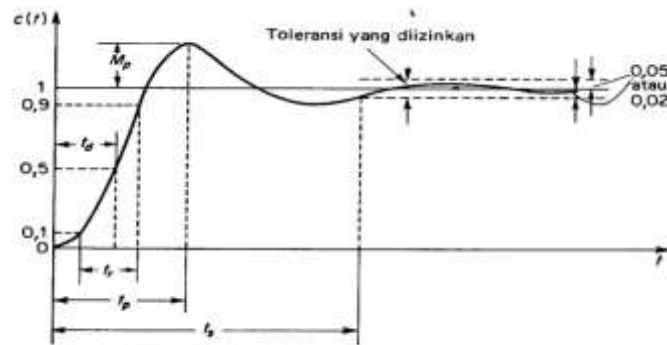
Saat merancang sistem kendali PID, perhatikan nilai K_p dan K_i . Kemudian dilakukan beberapa tahap pengujian, dengan penalaahan (*Heuristic Method*):

1. Penalaahan parameter pengendali dimulai dengan menggunakan pengendali P.
2. Penalaahan parameter pengendali ditambahkan pengendali I.

Sesuaikan nilai parameter sesuai dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh [32].

Identifikasi Respon Transien

Respon transien yang digunakan dalam penelitian ini adalah respon transien orde dua, yang memiliki fungsi transfer dengan pangkat s tertinggi dua. Umumnya dinyatakan denganasio redaman ζ , frekuensi alami tak teredam ω_n . Identifikasi sistem mengacu pada respons *transien* sistem dalam kondisi *open loop*. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan *step* [29]. Sistem yang digunakan untuk pengendalian konsentrasi pada ICSTR adalah sistem orde 2 yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. 9 Respon Transien Sistem Orde 2 [29]

Tolak ukur dari sistem orde 2 antara lain:

1. **Rise Time (t_r):**
Waktu naik adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10 sampai 90%, 5 sampai dengan 95%, atau 0 sampai 100% dari harga akhirnya.
2. **Settling Time (t_s):**
Waktu yang diperlukan sistem untuk naik dan menetap di sekitar keadaan *steady state*. Biasanya ditentukan harga 5% atau 2% dari respon *steady state*.
3. **Delay Time (t_d):**
Waktu yang diperlukan sistem dari keadaan awal hingga 50% dari keadaan *steady state*. Besarnya (persen) Lewatan maksimum secara langsung menunjukkan relatif sistem.
4. **Time Peak (t_p):**
Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan suatu respon untuk mencapai puncak lewatan peratama kali.
5. **Overshoot (M_p):**
Lewatan maksimum adalah harga puncak maksimum dari kurva yang diukur dari satu. Jika harga tidak sama dengan satu, maka dapat digunakan persen lewat maksimum. Parameter didefinisikan sebagai

$$\text{Persen Lewatan Maksimum} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.27)$$

Kesalahan tunak/ *error steady state* (e_{ss}) adalah kesalahan yang merupakan selisih antara keluaran yang sebenarnya dengan keluaran yang diharapkan.

$$E_{ss} = R_{ss} - C_{ss} \quad (2.28)$$

Dimana:

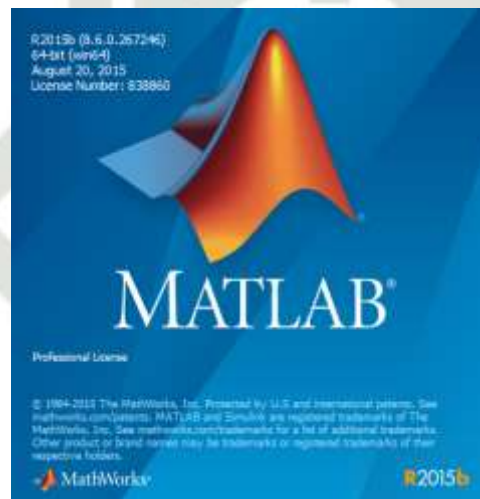
E_{ss} = *Error Steady State*

R_{ss} = Masukan sistem pada *steady state*

C_{ss} = Keluaran sistem pada *steady state*

2.8 MATLAB (Matrix Laboratory)

Matlab (*Matrix Laboratory*) adalah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan bahasa pemrograman matematika tingkat lanjut yang terbentuk berdasarkan penggunaan sifat dan bentuk matriks [39].



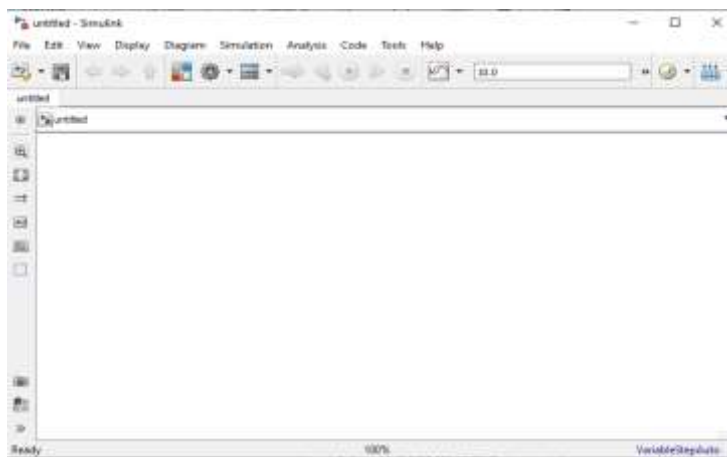
Gambar 2. 10 Tampilan Matlab 2015B

Matlab adalah perangkat lunak (*software*) yang dikembangkan oleh Mathworks.Inc. *Software* ini menggunakan bahasa pemrograman matriks tingkat tinggi dan digunakan untuk teknik komputasi numerik, penyelesaian masalah yang melibatkan operasi aritmatika untuk elemen dan matriks, optimasi dan lain-lain. Matlab banyak digunakan di bidang matematika dan ilmu komputer, pengembangan dan algoritma, pemodelan Pemrograman, Simulasi, pembuatan prototipe, analisa data, eksplorasi dan visualisasi, analisis numerik dan *statistic*, dan pengembangan aplikasi teknik [39].

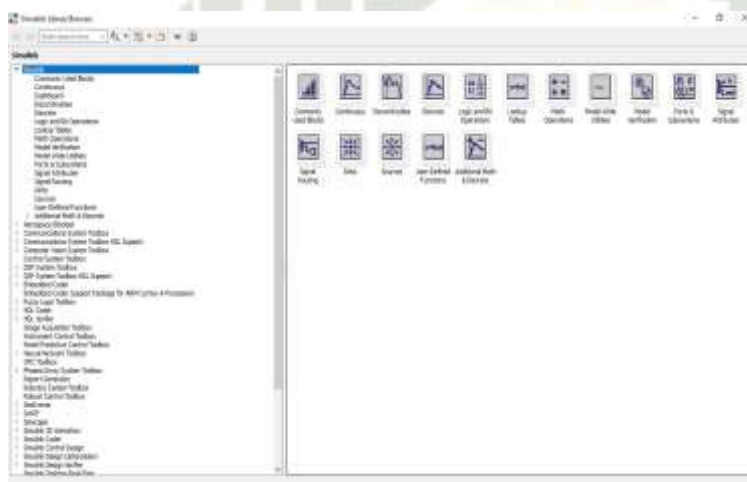
Dalam Matlab ada beberapa bagian penting yang digunakan untuk menjalankan program, yaitu:

1. *Command Window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.

1. **Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
 2. *Current Directory* berfungsi untuk menampilkan isi direktori kerja saat menggunakan Matlab.
 3. *Command History* berfungsi untuk menampilkan perintah yang telah ada sebelumnya.
 4. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel dalam Matlab.
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. 11 Tampilan model *simulink* pada Matlab



Gambar 2. 12 Kotak Dialog *Simulink Library*

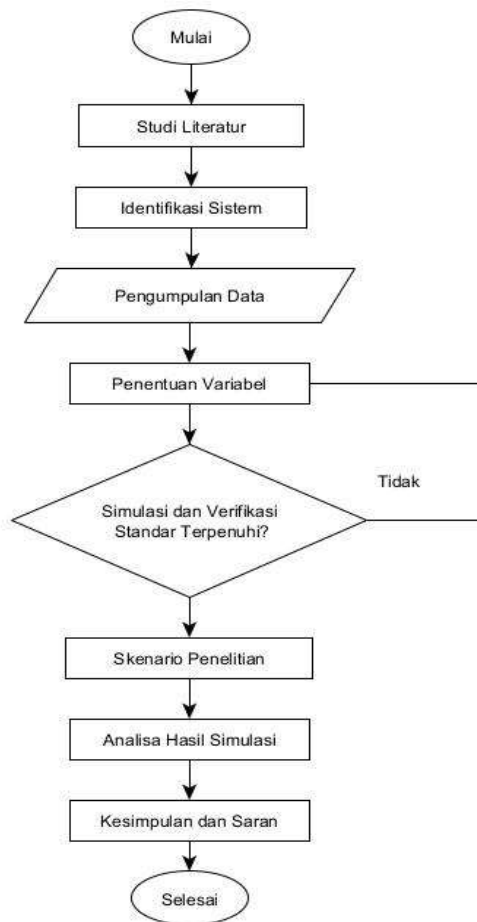
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian Tugas Akhir ini jenis penelitian yang penulis gunakan menggunakan metode kuantitatif, metode kuantitatif merupakan jenis data yang bisa diukur atau dihitung secara langsung, yang berupa informasi atau penjelasan yang dinyatakan dalam bentuk angka. Pada penelitian ini keseluruhannya dilakukan dengan bantuan komputer seperti perancangan pengendali serta menampilkan hasil grafik dengan menggunakan bantuan aplikasi Matlab.

3.2 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini ada beberapa tahapan yang penulis lakukan dalam proses perancangan pengendali *tuning* PI logika *fuzzy* menggunakan simulasi Matlab. Adapun tahap penelitian ini dapat digambarkan melalui *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan Penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian gambar 3.1, agar tujuan penelitian dapat tercapai, beberapa tahapan penelitian yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Langkah pertama ialah studi literatur, mencari dan mempelajari penelitian terkait berdasarkan referensi baik dari buku, jurnal, *paper* atau sumber lainnya. Hal-hal yang dipelajari adalah pemodelan matematis dari konsentrasi ICSTR, pengendali *tuning* PI, dan metode logika *fuzzy*.

2. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diajukan pada Tugas Akhir ini ialah untuk mendapatkan nilai *setpoint* yang diinginkan pada sistem ICSTR secara *open loop* dan menghilangkan *error steady state* dan mendapatkan respon sistem yang baik yang dihasilkan setelah penambahan pengendali *tuning* PI menggunakan logika *fuzzy*.

3. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data sebelum membuat desain yang diperlukan untuk tahap selanjutnya. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah nilai parameter yaitu 1 g.mol/liter dari rujukan penelitian ini sehingga tidak menyimpang dari nilai yang dipelajari dari jurnal dan skripsi yang sudah ada sebelumnya.

4. Penentuan Variabel

Setelah didapatkan nilai masing-masing variabel pada tahap pengumpulan data, variabel-variabel tersebut disubstitusikan ke dalam pemodelan matematis sistem ICSTR dalam bentuk *transfer function* berikut:

$$TF = \frac{-1.117s+3.1472}{s^2+4.6429s+5.3821}$$

5. Validasi Model Matematis

Validasi model matematis sistem merupakan tahapan pengujian model matematis berupa *transfer function* dari sistem yang telah diubah ke dalam bentuk bahasa pemrograman Matlab *Simulink*. Apakah *output* sesuai dengan rujukan sistem ICSTR.

6. Perancangan Pengendali

Penelitian ini menggunakan pengendali *fuzzy* yang telah ditambahkan pengendali PI untuk mengatasi *error steady state* dan mendapatkan respon sistem yang baik dengan memasukkan data yang diperoleh pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam Matlab berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *set point* 1 g.mol/liter.

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 UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

7. Skenario Penelitian

Penelitian ini menggunakan pengendali *tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* dengan memasukkan data yang diperoleh pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam Matlab berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *set point* 1 g.mol/litter. Grafik yang diambil berdasarkan simulasi sistem secara *open loop*, grafik pengujian menggunakan pengendali *Tuning* PI menggunakan logika *fuzzy*, dan grafik pengujian gangguan 9 % dari *setpoint*.

8. Analisa Hasil Simulasi

Menganalisa hasil simulasi dan mengklarifikasi hasil terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Jika telah mencapai tujuan berarti penelitian telah berhasil dan apabila belum memenuhi tujuan maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

9. Kesimpulan dan Saran

Setelah di analisa hasil sesuai dengan tujuan, penelitian yang dilakukan berhasil dan dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian. Serta memberikan saran-saran yang bermanfaat untuk digunakan sebagai referensi penelitian berikutnya.

3.4 Pemodelan Matematis ICSTR

Berdasarkan persamaan yang mengacu pada (2.20) dan (2.26), nilai parameter dimasukkan pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Parameter ICSTR [6]

No	Parameter	Simbol	Nilai
1	Kesetimbangan Masukan Kosentrasi	C_{Afs}	10 g. moll ⁻¹
2	Kesetimbangan Pada Konsentrasi A	C_{AS}	3 g. moll ⁻¹
3	Kesetimbangan Pada Kosentrasi B	C_{BS}	1.117 g. moll ⁻¹
4	Nilai Molaritas Konstan Untuk A → B	k_1	0.83 min ⁻¹
5	Nilai Molaritas Konstan Untuk B → C	k_2	1.66 min ⁻¹
6	Nilai Molaritas Konstan Untuk 2A → D	k_3	0.116 moll ⁻¹ Min ⁻¹
7	Nilai Pada Pengenceran	$\frac{F_s}{V}$	0.5714 min ⁻¹

Setelah memasukkan nilai-nilai pada tabel maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3C_{AS} & 0 \\ k_1 & \frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -24 & 0 \\ 0.83 & -2.23 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7 & 0.5714 \\ -1.117 & 0 \end{bmatrix} \\
 D &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya mengubah model *state space* ke *transfer function*, yang mana *transfer function* proses *input* dan *output* yang di manipulasi adalah $G(s) = C(sI - A)^{-1}B$ dihitung dengan menggunakan bantuan Matlab.

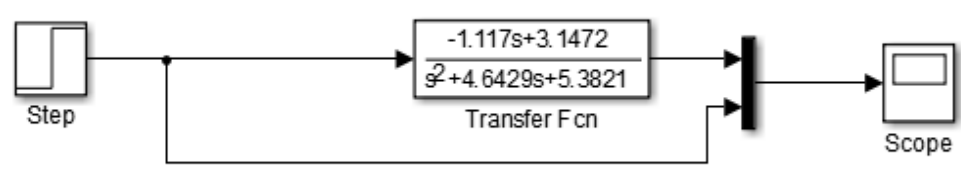
$$\begin{aligned}
 G(s) &= C(sI - A)^{-1}B \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3C_{AS} & 0 \\ k_1 & -\frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \\
 sI - A &= \begin{bmatrix} s + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & s + 2.238 \end{bmatrix} \\
 (sI - A)^{-1} &= \begin{bmatrix} s + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & s + 2.238 \end{bmatrix}^{-1} \\
 &= \begin{bmatrix} s + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & s + 2.238 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\det(sI - A)} \\
 &= \begin{bmatrix} s + 2.4048 & 0 \\ -0.83 & s + 2.238 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{(s+2.238)(s+2.4048) - (0)(0.83)} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{1}{s+2.4048} & 0 \\ \frac{0.83}{(s+2.238)(s+2.4048)} & \frac{1}{s+2.238} \end{bmatrix} \\
 C(sI - A)^{-1} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{s + 2.4048} & 0 \\ \frac{0.83}{(s + 2.238)(s + 2.4048)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{0.83}{(s+2.238)(s+2.404)} & \frac{1}{s+2.238} \end{bmatrix} \\
 C(sI - A)^{-1}B &= \begin{bmatrix} \frac{0.83}{(s + 2.238)} & \frac{1}{s + 2.238} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 & 0.5714 \\ -1.117 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{0.83 \cdot 7}{(s+2.238)(s+2.404)} & \frac{1 \cdot 1.117}{s+2.238} & \frac{0.83 \cdot 0.5714}{(s+2.238)(s+2.404)} \\ & & \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Maka diperoleh *transfer function* konsentrasi pada ICSTR:

$$\begin{aligned}
 G_{11} &= \frac{5.833 - 1.117(s + 2.404)}{(s + 2.238)(s + 2.404)} \\
 G_p &= \frac{1.117s + 3.1472}{s^2 + 4.6429s + 5.3821} \tag{3.1}
 \end{aligned}$$

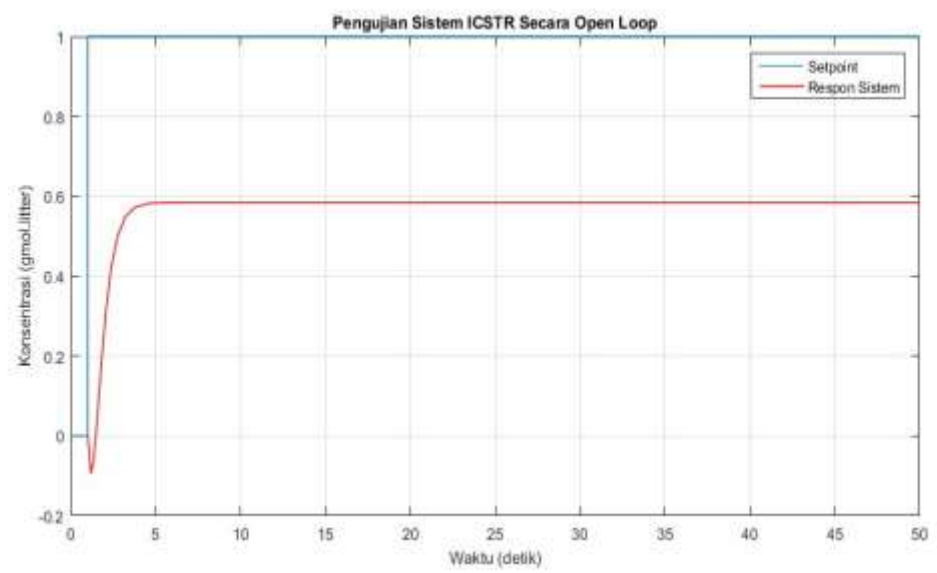
Validasi Pemodelan Matematis

Untuk menguji kebenaran data-data yang telah dikumpulkan maka dilakukan simulasi. Validasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab 2015B, simulasi dilakukan dengan cara sistem disimulasikan secara *open loop* dengan memasukkan nilai yang ada pada persamaan (3.1). Validasi *Open loop* ini dilakukan tanpa pengendali untuk mengetahui perilaku dan karakteristik dari sistem sebelum dirancang pengendali. Adapun susunan rangkaian *open loop* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Blok *Open Loop* ICSTR

Dari gambar 3.2 nilai yang ada pada *plant* ICSTR didapat dari penyelesaian persamaan (3.1) dengan menggunakan parameter yang ada pada tabel 3.1 Sistem *open loop* dibentuk untuk membuktikan bahwa *plant* dapat berjalan sesuai yang diinginkan dengan cara me *run* sistem tersebut dari tabel *display*, untuk melihat responnya dapat dilihat dari *scope*, berikut 3.3 adalah hasil grafik dari sistem *open loop*.



Gambar 3. 3 Respon Sistem Secara *Open Loop*

Hasil pengujian sistem secara *open loop* tanpa pengendali di atas menunjukkan respon keluaran sistem sudah stabil namun tidak dapat menyesuaikan nilai *set point* yang ditentukan,

sebagaimana penelitian sebelumnya [6], maka model matematis sistem ICSTR ini sudah valid. Pada Gambar 3.3 Respon sistem secara *open loop* di atas menunjukkan nilai *set point* sebesar 1 g.mol/litter, namun hasil respon keluaran sistem menunjukkan nilai tidak mencapai *setpoint* yang telah ditentukan.

3.5 Skenario Penelitian

Dalam skenario penelitian ini model sistem harus disimulasi dengan beberapa skenario (minimal 3 skenario), dimana masing-masing skenario menghasilkan minimal satu grafik. Penelitian ini menggunakan pengendali *tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada permodelan matematis sebelumnya ke dalam program Matlab, berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *set point* 1 g.mol/litter. Adapun skenario penelitian yang akan dilakukan yaitu:

1. Simulasi sistem secara *open loop*
2. Simulasi menggunakan pengendali PI *tuning* menggunakan logika *fuzzy*
3. Simulasi pengujian terhadap pengendali 9% dari *setpoint*.

3.6 Perancangan Pengendali

Pada penelitian ini, penulis menggunakan kontroler *Tuning* PI menggunakan Logika *fuzzy* untuk melakukan pengendalian Konsentrasi Pada sistem ICSTR. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* Matlab. Logika *fuzzy* digunakan sebagai *tuning* parameter kontroler PI dengan *error* dan *delta error* sebagai *input* dan parameter K_p , K_i sebagai *Output*. Tahapan perancangan logika *fuzzy* ini terdiri dari fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, dan defuzzifikasi. Metode *tuning* yang digunakan adalah metode heuristik atau *trial-error*. Data yang dibutuhkan diambil dari respon *transient*, analisis kinerja metode dinilai berdasarkan respon *transient* pada beberapa kasus yang diujikan pada simulasi seperti pengujian secara *open loop*, pengujian terhadap pengendali, pengujian terhadap gangguan 9% dari *setpoint*. Parameter yang digunakan untuk analisis sistem kendali tersebut adalah waktu tunda (*delay time*), waktu tunak (*settling time*), nilai waktu naik (*rise time*), Maximum overshoot, dan nilai *error steady state*.

Pengujian dilakukan untuk melihat kinerja sistem atau tanggapan respon *transient* terhadap *plant* yang dikendalikan. Hasil pengujian tersebut diamati dalam bentuk grafik. Penelitian ini diawali dengan melihat hasil pengujian tanpa menggunakan pengendali atau secara *open loop*, kemudian dilakukan perancangan dan pengujian terhadap pengendali *Auto*

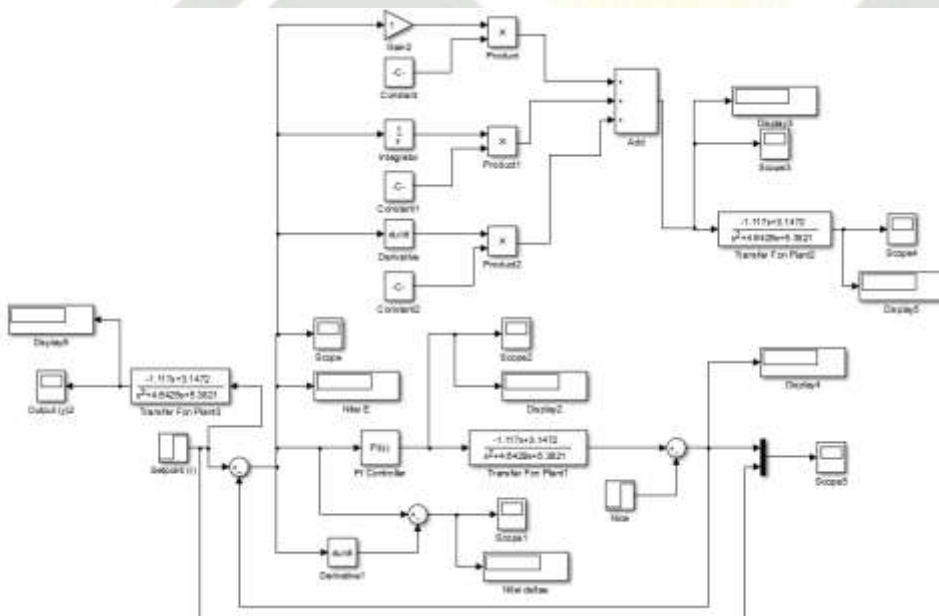
Tuning PI menggunakan logika *fuzzy*. Dalam penelitian ini penulis melakukan beberapa analisis terhadap keluaran respon sistem, antara lain:

1. Hasil respon *transient* yang optimal
2. Tidak memiliki *error steady state*

Untuk memenuhi kriteria tersebut maka ditentukan spesifikasi sistem yang diinginkan. Berdasarkan hasil pengujian sistem, dilakukan perbandingan untuk melihat kinerja masing-masing pengujian terhadap sistem. Parameter yang diamati dan dibandingkan yaitu waktu tunda (*delay time*), waktu tunak (*settling time*), nilai waktu naik (*rise time*), *Maximum overshoot*, dan nilai *error steady state*.

3.6.1 Perancangan Pengendali Tuning PI

Dalam perancangan *Tuning PI*, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan nilai *input* dan *output* yang akan digunakan pada pengendali *Fuzzy* kemudian dilanjutkan dengan membuat rangkaian simulink pada *software* Matlab seperti yang ada pada gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3. 4 Rangkaian Simulink Tuning PI

Agar mendapatkan nilai *input* dan *output Fuzzy* dilakukan dengan menggunakan metode Heuristik dengan melakukan *double* klik pada blok *PI Controller* dan akan memunculkan tampilan *Function Blok Parameters PI Controller* Seperti gambar 3.6 berikut ini:

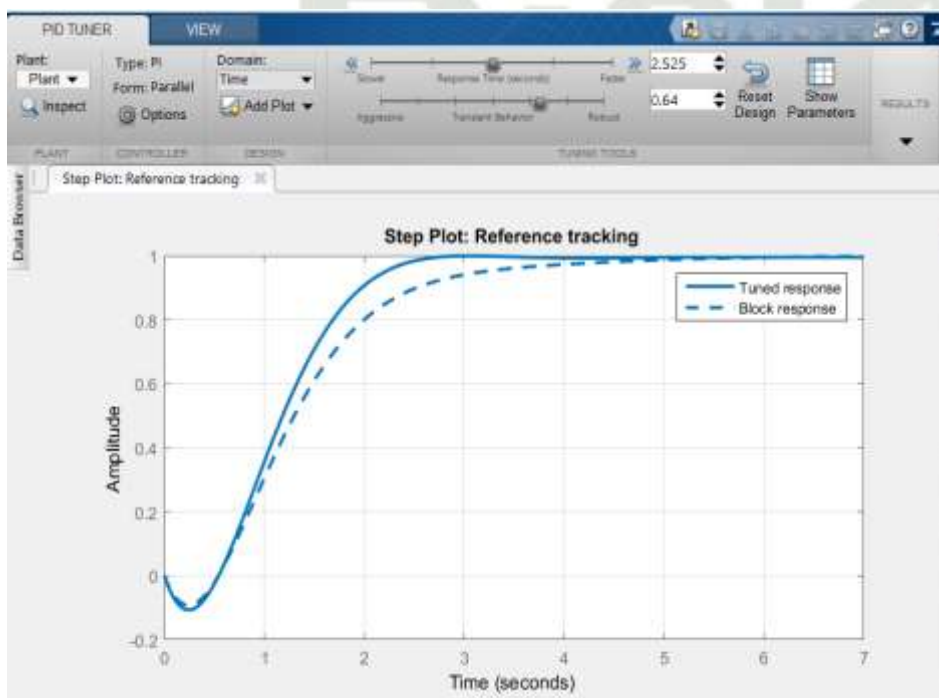
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.



Gambar 3. 5 Tampilan blok PI Controller

Langkah selanjutnya ialah melakukan *tuning* dengan melakukan *double* klik pada tombol *tune* yang ada pada *Function* Blok Parameters *PI Controller* tersebut. Kemudian geser tombol pada garis *Slower* dan *Aggressive* hingga mendapatkan nilai P dan I yang menghasilkan grafik sesuai *setpoint* dengan respon sistem yang baik seperti gambar 3.6. Untuk mendapatkan hasil respon sistem yang diinginkan penulis melakukan berulang kali percobaan sampai mendekati hasil yang diinginkan pada 5 percobaan terakhir.



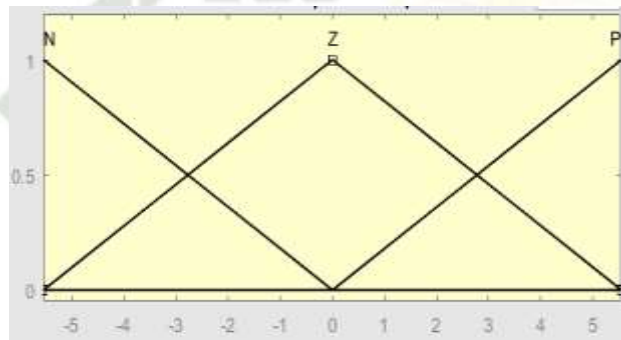
Gambar 3. 6 Tampilan Grafik Tuning PI

6.2 Perancangan Pengendali *Tuning* PI Menggunakan Logika Fuzzy

Dalam perancangan ini menggunakan metode *fuzzy* mamdani, metode ini digunakan karena desainnya sederhana dan mudah dimengerti. Logika *fuzzy* digunakan karena merupakan metode yang digunakan untuk *tuning* kontroler PID. Logika *fuzzy* digunakan sebagai *tuning* parameter kontroler PID dengan *error* (e) dan *delta error* (Δe) sebagai masukan (*input*), dan parameter K_p , K_i , sebagai *output*. Logika *fuzzy* dapat mengatasi sistem yang bersifat non linear seperti ICSTR, dapat beradaptasi dengan perubahan parameter dan lingkungan, serta desainnya yang sederhana dan mudah diimplementasikan. Perancangan *fuzzy* terdiri dari 3 langkah yaitu:

1. Fuzzifikasi

Perancangan fuzzifikasi dalam pemodelan ini, untuk nilai *range input error* dan *deror* didapat dari rangkaian simulink kendali PI *tuning* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.7, untuk rentang parameter himpunan *fuzzy* dari *error* dan *delta error* dimulai dari $[-11.102e^{-16}$ $5.551e^{-16}$ 0], $[- 5.551e^{-16}$ 0 $5.551e^{-16}$], $[0$ $5.552e^{-16}$ $11.102e^{-16}]$ pada masing masing anggota himpunan N, Z, P seperti gambar 3.7 berikut ini:

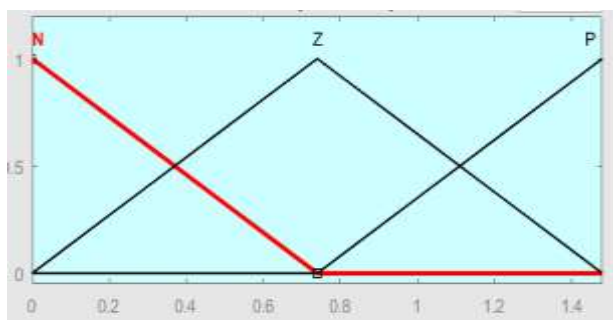


Gambar 3. 7 Fungsi Keanggotaan *Error* dan *Delta error*

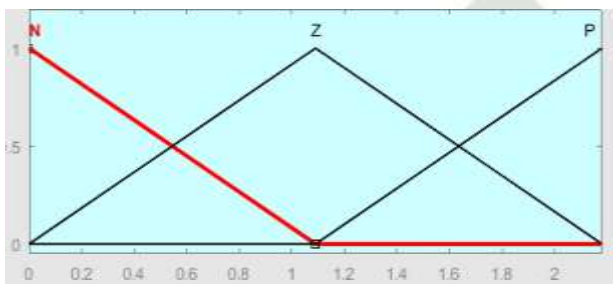
Selanjutnya untuk menentukan nilai rentang dari himpunan (*display range*) *output* 1 diambil dari nilai K_p dan nilai rentang himpunan (*display range*) *output* 2 diambil dari nilai K_i . Untuk rentang parameter himpunan *output* 1 dimulai dari $[-0,74$ 0 $0,74]$, $[0$ $0,74$ $1,48]$, $[0,74$ $1,48$ $2,96]$ pada masing-masing anggota himpunan N, Z, P. Sedangkan untuk rentang parameter himpunan *output* 2 dimulai dari $[-1,09$ 0 $1,09]$, $[0$ $1,09$ $2,18]$, $[1,09$ $2,18$ $4,36]$ pada masing-masing anggota himpunan N, Z, P seperti gambar berikut 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.



Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan *Output 1*



Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan *Output 2*

2. *Rule Base*

Ada dua pendekatan yang digunakan dalam membuat *rule base*, yaitu pendekatan heuristik dan pendekatan deterministik. Dalam penelitian ini penulis akan menggunakan pendekatan heuristik, pendekatan ini lebih mudah untuk diterapkan. Dalam pendekatan heuristik, *rule base* dirancang berdasarkan pengetahuan kualitatif dari respon *plant* secara *open loop*. Pada perancangan *plant* yang bertujuan untuk menghasilkan respon *plant* dengan nilai *error steady state* yang kecil. *Rule base* yang dibuat adalah sebagai berikut:

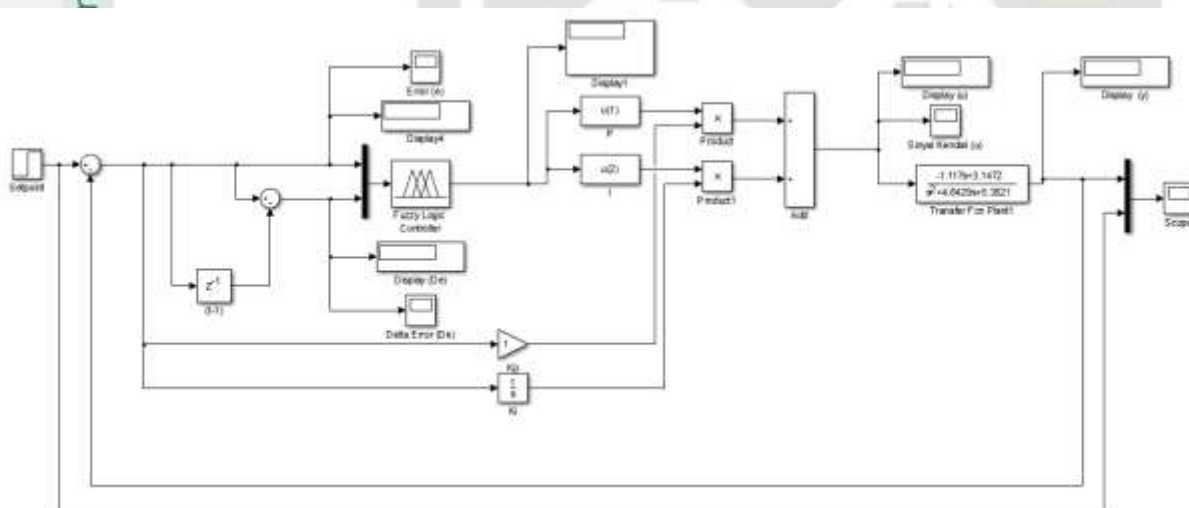
1. *If (Error is N) and (Derror is N) then (Output1 is N) and (Output2 is N)*
2. *If (Error is N) and (Derror is Z) then (Output1 is N) and (Output2 is N)*
3. *If (Error is N) and (Derror is P) then (Output1 is Z) and (Output2 is Z)*
4. *If (Error is Z) and (Derror is N) then (Output1 is N) and (Output2 is N)*
5. *If (Error is Z) and (Derror is Z) then (Output1 is Z) and (Output2 is Z)*
6. *If (Error is Z) and (Derror is P) then (Output1 is P) and (Output2 is P)*
7. *If (Error is P) and (Derror is N) then (Output1 is Z) and (Output2 is Z)*
8. *If (Error is P) and (Derror is Z) then (Output1 is P) and (Output2 is P)*
9. *If (Error is P) and (Derror is P) then (Output1 is P) and (Output2 is P)*

Tabel 3.2 Rules Base Fuzzy

<i>Error</i>	<i>Derror</i>	N (Negative)	Z (Zero)	P (Positive)
N (Negative)	N (Negative)	N (Negative)	Z (Zero)	Z (Zero)
Z (Zero)	N (Negative)	N (Negative)	Z (Zero)	P (Positive)
Z (Zero)	Z (Zero)	Z (Zero)	P (Positive)	P (Positive)

Defuzzifikasi

Setelah membuat rangkaian sistem kendali *fuzzy*, selanjutnya sistem disimulasikan dan dianalisa. Pada perancangan ini penulis menggunakan metode *tuning* PI dengan mencari kombinasi nilai k_p dan k_i yang sesuai dengan cara menaikkan/menurunkan nilai parameter K_p dan K_i secara berangsur-angsur.



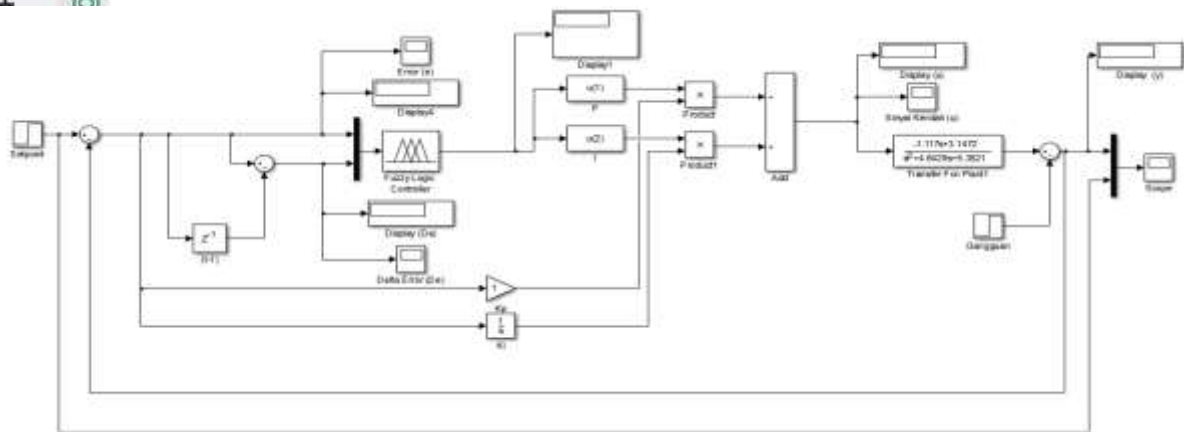
Gambar 3.10 Rangkaian Simulink Pengendali Fuzzy PI

3.6.3 Perancangan Pengendali PI Tuning Fuzzy Logic dengan Gangguan Sinyal kendali

Dalam perancangan ini pengendali diberikan gangguan sinyal kendali untuk menguji ketahanan pengendali terhadap sistem dengan melihat keadaan *steady state* pada hasil grafik. Pengujian ini diberikan gangguan dengan nilai 9% dari *setpoint* pada waktu 9 detik.

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

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



Gambar 3. 11 Rangkaian *Simulink* Pengendali *Tuning* PI menggunakan Logika *Fuzzy* dengan Gangguan Sinyal Kendali 9% dari *Setpoint*

Hasil dari percobaan 3.11 perancangan pengendali PI tuning *fuzzy logic* dengan gangguan sinyal kendali mengalami penurunan ketika sudah mencapai *setpoint* ini diakibatkan dengan adanya pemberian gangguan untuk menguji ketahanan pengendali sampai akhirnya mengalami keadaan *steady state*.

3.7 Hasil data Penelitian yang Akan diamati

Dalam tahap ini hasil data yang akan diamati setelah disimulasikan yaitu berupa hasil grafik dari masing-masing pengujian pada simulasi sistem yaitu:

1. Respon *Transient* hasil simulasi secara *Open Loop*
2. Respon *Transient* hasil simulasi menggunakan PI *Tuning*
3. Respon *Transient* hasil simulasi Menggunakan Pengendali PI *Tuning Fuzzy Logic*
4. Respon *Transient* hasil simulasi sistem terhadap gangguan sinyal kendali 9% dari *setpoint*

3.7.1 Respon *Transient* Sistem Dari Setiap Pengujian

Pada penelitian ini data yang dibutuhkan diambil dari kinerja metode berdasarkan respon *transient* dan keadaan tunak (*error steady state*) dari setiap pengujian yang meliputi:

1. *Rise Time* (t_r)

Waktu naik adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10 sampai 90%, 5 sampai dengan 95%, atau 0 sampai 100% dari harga akhirnya.

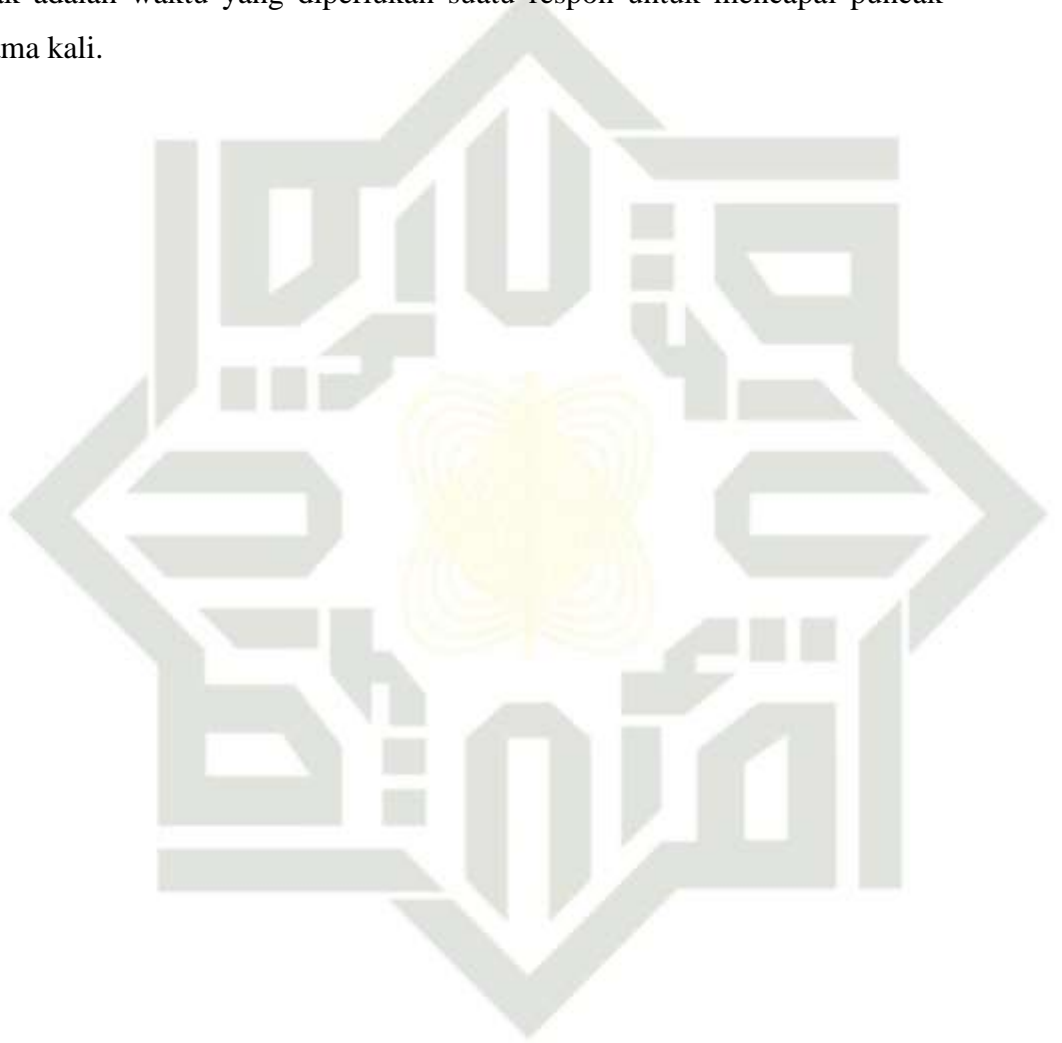
2. *Settling Time* (t_s)

Waktu yang diperlukan sistem untuk naik dan menetap di sekitar keadaan *steady state*.

Biasanya ditentukan harga 5% atau 2% dari respon *steady state*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

3. *Delay Time (t_d):*
Waktu yang diperlukan sistem dari keadaan awal hingga 50% dari keadaan *steady state*.
4. *Overshoot (M_P)*
Lewatan maksimum adalah harga puncak maksimum dari kurva yang diukur dari satu. Jika harga tidak sama dengan satu, maka dapat digunakan persen lewat maksimum.
5. *Time Peak (t_p)*
Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan suatu respon untuk mencapai puncak lewat pertama kali.



UIN SUSKA RIAU

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

BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan pengendali *Tuning* PI menggunakan logika *fuzzy* dapat membuat sistem mencapai *setpoint* yang diinginkan untuk mengendalikan konsentrasi pada sistem *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor* (ICSTR). Pengendali juga mampu mempertahankan keadaan *steady state* agar sistem tetap stabil dengan melakukan pengujian gangguan sinyal kendali yang diberikan, dengan mengansumsikan nilai sebesar 9% dari *setpoint*. Pada pengujian pemberian gangguan 9% dalam waktu 25 detik sistem mengalami penurunan ketika sudah mencapai *setpoint* ini diakibatkan dengan adanya pemberian gangguan yang bertujuan menguji ketahanan *plant* sampai akhirnya mengalami keadaan *steady state*. Kemudian pengendali tersebut juga mampu melakukan tuning otomatis dengan nilai Kp dan Ki yang benar yaitu Kp 0.74 dan Ki 1.09. Dengan berfungsinya *tuning* pada pengendali dapat memperbaiki respon transient dan *error steady state* yang dihasilkan. Sehingga permasalahan yang terjadi pada konsentrasi pada sistem ICSTR dapat diatasi.

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti melakukan penalaan pada pengendali *Tuning* PI menggunakan Logika *Fuzzy* dengan metode *heuristic* atau *trial-error*, kemudian pengujian dilakukan sampai gangguan sinyal kendali, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode *ziegler nichols* dan pengujian dilakukan dengan perubahan *set point*. Sehingga dengan metode tersebut menghasilkan respon sistem berbeda yang diharapkan dapat menghasilkan respon sistem yang lebih baik.

- 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

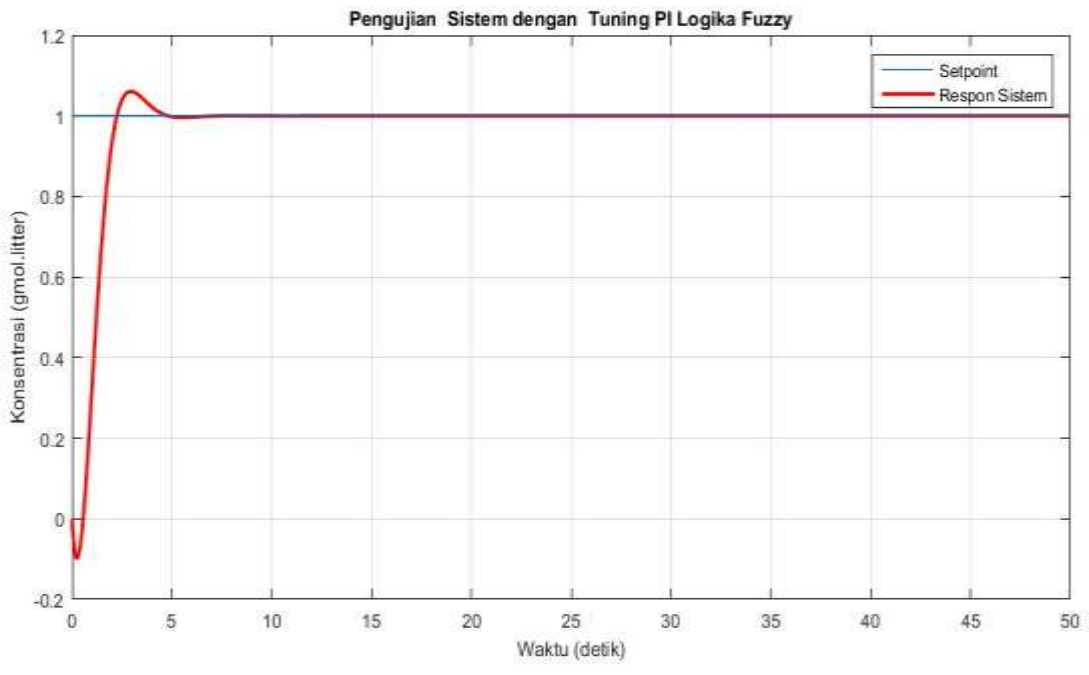
- [1] I. Wijati and B. Santosa, "Pengaruh Ekonomi Industri Makanan Dan Minuman Di Indonesia Tahun 2009–2013," vol. 23, p. 37, 2015.
- [2] M. Miar and K. R. Batubara, "Analisis Konsentrasi Rasio Industri Besar Dan Sedang Di Indonesia (Studi Empiris Pada Perusahaan Manufaktur Subsektor Makanan Dan Minuman Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Periode 2013 -2017)," vol. 16, no. 2, pp. 121–132, 2020.
- [3] Kementerian Perindustrian, *Analisis Perkembangan*, 1st ed. 2020.
- [4] H. Y. Rosadi, "Pemodelan Continuous Stirred Tank Reactor." Jakarta, pp. 107–116, 2000.
- [5] N. Z.A, Y. P. Roja, and N. Sylvia, "Aplikasi Kontrol PID pada Reaktor Pabrik Asam Formiat dengan Kapasitas 100.000 Ton/Tahun," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 7, no. 2, p. 135, 2019.
- [6] V. Vishnoi, S. Padhee, and G. Kaur, "Controller Performance Evaluation for Concentration Control of Isothermal Continuous Stirred Tank," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 2, no. 6, pp. 1–7, 2012.
- [7] 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," no. November, pp. 575–581, 2019.
- [8] D. Metode, F. Inference, and S. Tsukamoto, "Penentuan Persediaan Bahan Baku Dan Membantu Target Marketing Industri Target Marketing Industri Dengan Metode Fuzzy," no. July, 2014.
- [9] F. Aslam and G. Kaur, "Comparative Analysis of Conventional, P, PI, PID and Fuzzy Logic Controllers for the Efficient Control of Concentration in CSTR," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 17, no. 6, pp. 12–16, 2011.
- [10] A. Saputra, "Pengendalian Level dan Konsentrasi pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) menggunakan Sliding Mode Control dengan Permukaan Luncur Proportional Derivative," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2014.
- [11] F. Damanik, "Optimasi Aplikasi Kontrol PI pada Tekanan di Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) menggunakan Response Surface Methodology (RSM)," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 2, no. November, pp. 31–41, 2013.
- [12] R. Kristiyono and W. Wiyono, "Autotuning Fuzzy PID Controller for Speed Control of

- BLDC Motor,” *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 5, 2021, doi: 10.18196/jrc.25114.
- [3] A. Pardomuan, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, “Perancangan Kontroler Self Tuning Fuzzy Pi Untuk Pengendalian Ketinggian Air Dan Temperatur Uap Pada Steam Drum Boiler,” *Transient*, vol. 6, no. 1, pp. 45–52, 2017.
- [4] D. Rachmadi, Mochamad Adityo, “Sistem Kontrol Kecepatan Sepeda Listrik Menggunakan Metode Self-Tuning Parameter PI dengan Metode Logika Fuzzy,” *J. EECCIS*, vol. 10, no. 1, pp. 26–32, 2016.
- [5] O. Bagus and A. Triwiyatno, “Desain Auto Tuning Pid Menggunakan Logika Fuzzy Pada Sistem Suspensi Aktif Tipe Paralel Nonlinear Model Kendaraan Seperempat,” *Transmisi*, vol. 15, no. 3, pp. 114–120, 2013, doi: 10.12777/transmisi.15.3.114-120.
- [16] I. Khadari, Subiyanto, and D. Prastiyono, “Simulasi Kontroler PID Tuning Menggunakan Logika Fuzzy dan Algoritma Genetika Sebagai Pengendali Kecepatan Motor DC,” vol. 8, no. 1, pp. 134–143, 2019.
- [17] H. Kurniawan, Itmi and L. Hayat, “Perbandingan Modetode Tuning PID Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Berbasis Programable Logic Controller,” vol. 17, no. 1, pp. 33–42, 2016.
- [18] Zulfatman and M. F. Rahmat, “Application of Self-Tuning Fuzzy Pid Controller on Industrial Hydraulic Actuator,” *Nternational J. Smart Sens. Intell. Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 246–261, 2009.
- [19] K. R. Sudha, “Design of Lyapunov Based Fuzzy Logic C Ontroller for Puma-560 Robot,” vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2014.
- [20] N. Allu and S. Salu, “Aplikasi Penalaan Dengan Metode Ziegler Nichols Di Perancangan Pengendali PID Pada Putaran Motor DC,” *Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, vol. 1, pp. 203–210, 2018.
- [21] A. Kholiq, “Design Sistem Pengendali Adaptif Fuzzy Pada Mobile Robot Untuk Menghindari Halangan,” *Inst. Teknol. Sepuluh Novemb. Surabaya*, pp. 1–41, 2009.
- [22] G. Chen and T. T. Pham, *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Sistem*. New York: Library of Congress, 2001.
- [23] A. Faizal, D. Mursyitah, and E. Ismaredah, “Analisa Pengendali Hybrid Sliding Mode Control Dan Fuzzy Logic Controller Dalam Penurunan Error Steady State Untuk Mengendalikan Concentration Pada Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (Cstr),” *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–39, 2019.
- [24] R. Anggoro Kurniawan and dan Ajub Ajulian Zahra, “Perancangan Kontroler Self-

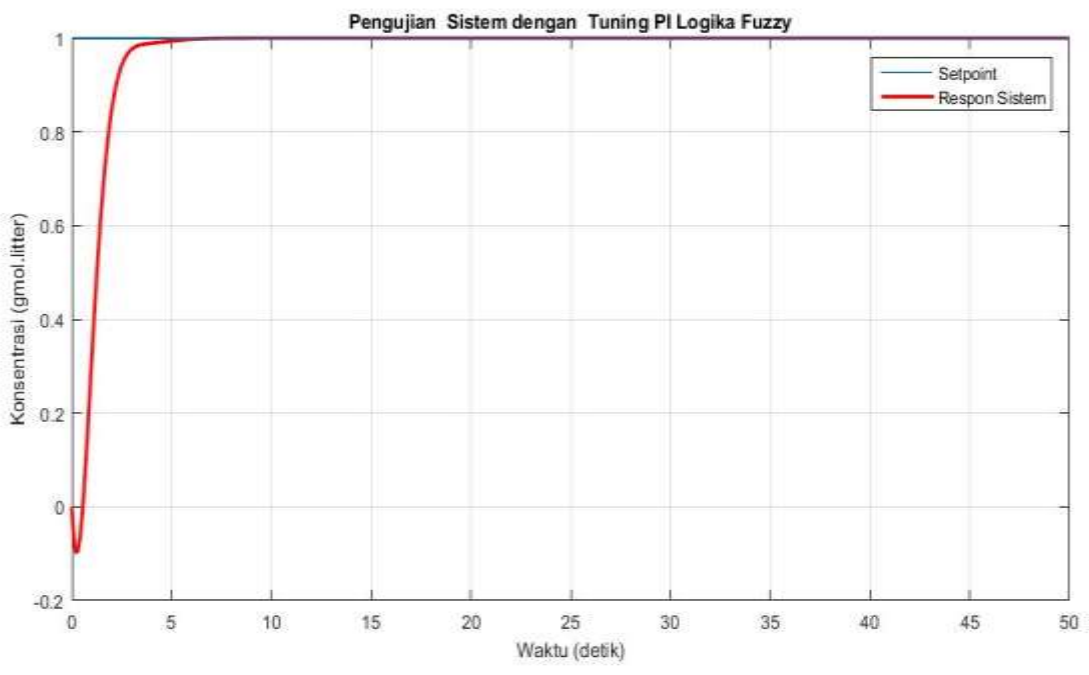
LAMPIRAN

Proses Penalaan Parameter *Tuning* PI Menggunakan Logika *Fuzzy* dengan Menggunakan Metode Heuristik

Hasil Simulasi dengan Nilai K_p 0.74 dan K_i 1.39



2. Hasil Simulasi dengan Nilai K_p 0.775 dan K_i 1.19



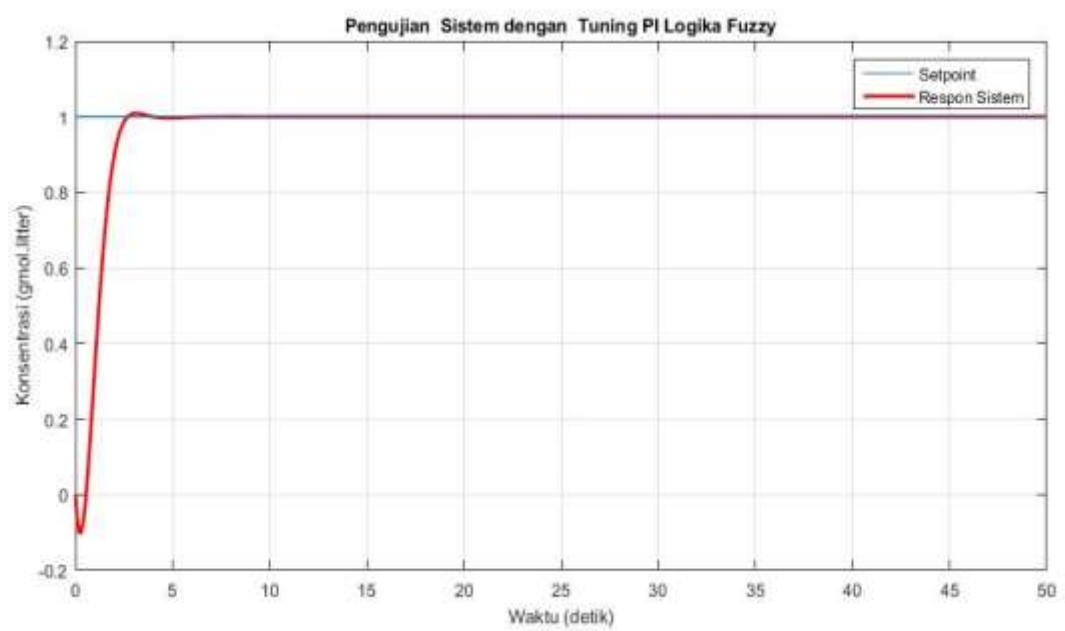
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

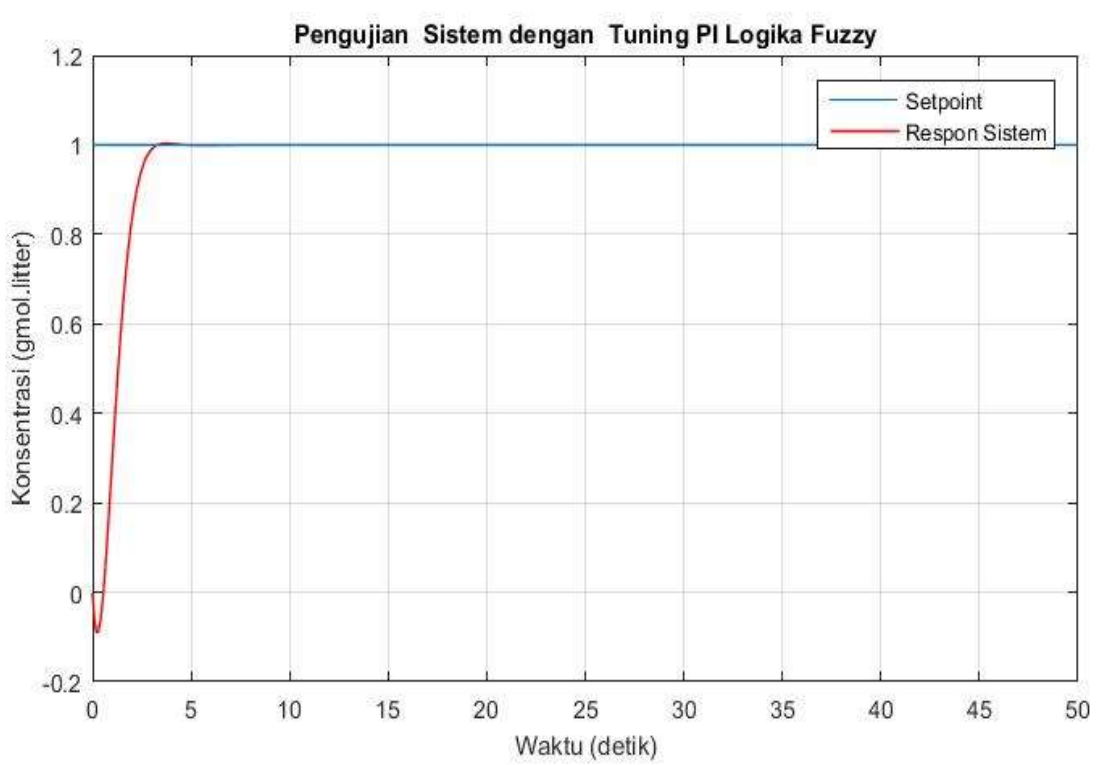
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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.

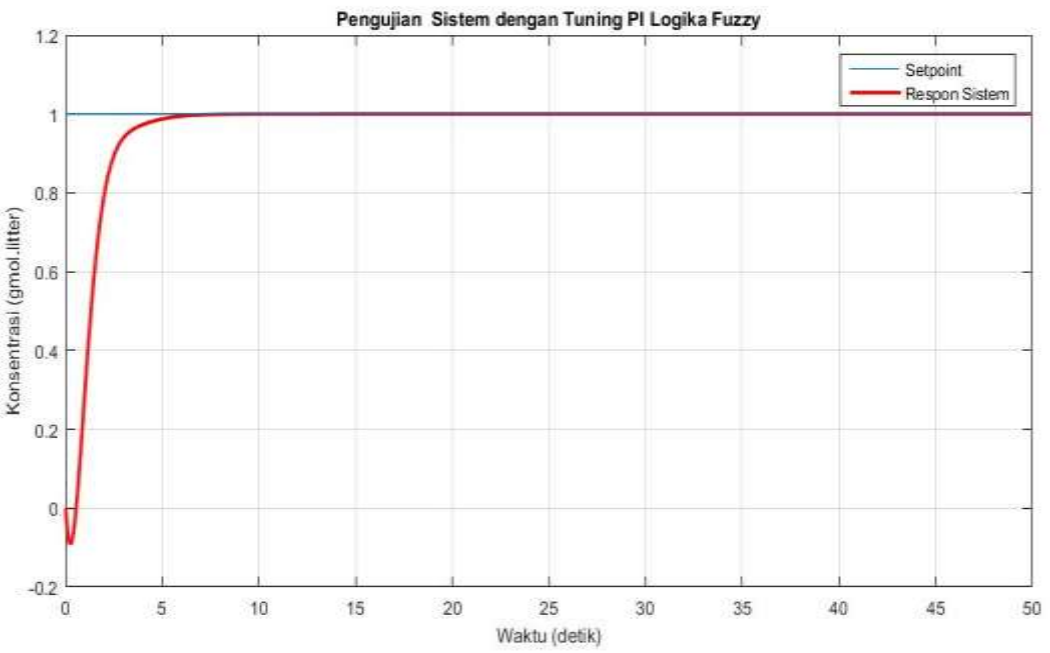
Hasil Simulasi dengan Nilai K_p 0.80 dan K_i 1.29



4. Hasil Simulasi dengan Nilai K_p 0.75 dan K_i 1.20



Hasil Simulasi dengan Nilai Kp 0.74 dan 1.09



1. 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.

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Reza Kurniawan lahir pada tanggal 9 April 1999 di Kota Dumai Provinsi Riau, sebagai anak terakhir dari pasangan Husni dan Umi Kalsum dengan 3 bersaudara. Beralamat di Jalan Nelayan Laut Gg. Jahir Kel. Pangkalan Sesai Kec. Dumai Barat Kota Dumai Provinsi Riau. Pengalaman pendidikan yang dilalui dari SD Negeri 003 Pangkalan Sesai dan lulus tahun 2011, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 4 Kota Dumai dan lulus pada tahun 2014, Setelah itu dilanjutkan dengan pendidikan SMA Swasta Ykpp Kota Dumai dengan Jurusan IPA. Setelah lulus SMA pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dengan mengambil bidang kajian Elektronika dan Instrumentasi dan menyelesaikan masa studi pada tahun 2021.

Selama Perkuliahan Penulis aktif dalam kegiatan Akademik, Penulis juga aktif di beberapa kegiatan sosial masyarakat yang di selenggarakan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATE) serta juga ikut andil di beberapa kegiatan sosial masyarakat yang di selenggarakan Ikatan Mahasiswa Kota Dumai (IMKD). Dengan ketekunan, dan motivasi yang tinggi dan terus berusaha dan belajar, penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini dan mampu memberikan manfaat dan kontribusi untuk yang membutuhkan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikan tugas akhir ini yang berjudul “**Desain Kendali *Tuning* PI Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Mengendalikan Konsentrasi Pada *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)**”

NO. HP : 082171814689

Email : 11755100053@students.uin-suska.ac.id