DESAIN KENDALI *POLE PLACEMENT- FUZZY* MAMDANI UNTUK PENGENDALIAN LEVEL PADA *COUPLED TANK*

TUGAS AKHIR

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

UIN SUSKA RIAU

Oleh :

MARZA DEVI

11655203576

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2021

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN KENDALI *POLE PLACEMENT – FUZZY* MAMDANI UNTUK PENGENDALIAN LEVEL PADA *COUPLED TANK*

TUGAS AKHIR

Oleh :

MARZA DEVI
11655203576

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 22 Desember 2021

Ketua Program Studi Teknik Elektro	Pembimbing
Digitally signed by Zulfatri Aini Tanggal: 2022.01.31 16:31:21 WIB	Bersetifikat: Halim Mudia Tanggal: 2022.01.31 09:04:09 WIB
Dr. Zulfatri Aini, ST.,MT	**Halim Mudia, ST.,MT**
NIP. 197210212006042001	**NIK. 130 517 053**

auan suatu masa
Syarif Kasim

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KENDALI *POLE PLACEMENT – FUZZY* MAMDANI UNTUK PENGENDALIAN LEVEL PADA *COUPLED TANK*

TUGAS AKHIR

Oleh :

MARZA DEVI
11655203576

Telah dipertahankan didepan 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 22 Desember 2021

Pekanbaru, 22 Desember 2021

Mengesahkan,

Dekan

Dr. Hartono, M.Pd
NIP. 196403[illegible]

Ketua Program Studi

Digitally signed by Zulfatri Aini Tanggal: 2022.01.31 16:30:54 WIB

Dr. Zulfatri Aini, ST.,MT,
NIP. 197210212006042001

DEWAN PENGUJI :

Ketua	**: Abdillah, S.Si, MT**	Abdillah Tanggal: 31-01-2022 16:24:21
Sekretaris	**: Halim Mudia ST.,MT**	Halim Mudia Tanggal:2022.01.31 08:50:51 WIB
Anggota I	**: Aulia Ullah ST.,M.Eng**	
Anggota II	**: Ahmad Faizal ST.,MT**	Ahmad Faizal 2022.01.31 14:56:11 +07'00'

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan BSrE. Untuk memastikan keasliannya, silahkan scan QRCode dan pastikan diarahkan ke alamat https://tte.kemenag.go.id atau kunjungi halaman https://tte.kemenag.go.id/
Token : JpsTOb

UIN SUSKA RIAU

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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : MARZA DEVI
NIM : 11655203576
Tempat/Tgl. Lahir : DURI, 05 APRIL 1998
Fakultas/Pascasarjana : SAINS DAN TEKNOLOGI
Prodi : TEKNIK ELEKTRO
Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya*:
DESAIN KENDALI POLE PLACEMENT - FUZZY MAMDANI UNTUK PENGENDALIAN LEVEL PADA COUPLED TANK

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 besedia menerima sanksi sesua peraturan perundang-undangan.

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

Pekanbaru, 07 FEBRUARI 2022
Yang membuat pernyataan

METERAI TEMPEL
8CE7EAJX698706370

MARZA DEVI
NIM : 11655203576

pilih salah satu sasuai jenis karya tulis

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
2. Dilarang menyebarluaskan dan memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk apapun untuk kepentingan komersial tanpa izin UIN Suska Riau.
Hak cipta milik UIN Suska Riau.

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutipsebagian 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 masa
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 didalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

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

Pekanbaru, 22 Desember 2021

Yang membuat Pernyataan,

Marza Devi

Nim. 1165520376

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
   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.

HALAMAN PERSEMBAHAN

بسم الله الرحمن الرحيم

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Menuntut ilmu adalah kewajiban bagi setiap muslim, Nabi Muhammad SAW teladan dari segala keteladan. Izinkan hamba-Mu untuk menjadi pengikut setia, yang senantiasa menyerukan nama-Mu dan ayat-Mu, yang senantiasa meneladani perilaku utusan-Mu. Sehingga hamba-Mu bisa menyampaikan kebenaran agama yang dibawa utusan-Mu.

Katakanlah (Muhammad), "*Sesungguhnya salatku, ibadahku, hidupku dan matiku hanyalah untuk Allah, Tuhan seluruh alam, (QS. Al-An'am: 162*)

Allah senantiasa mengasihi hamba Nya, tidak akan diberikan ujian jika hamba Nya tidak sanggup melewatinya. Usaha tidak akan menkhianati hasil walaupun banyak tantangan suatu saat pasti akan ada jalan, begitulah perjalanan perkuliahanku hingga aku mencapai kedepan pintu gerbang sarjana. Ini semua tidak akan terjadi kalau Allah tidak mengizin, maka semua rasa syukur ini kupersembahankan kepadamu ya Rabb.

Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya". (QS. Al Baqarah : 286)

Ku persembahkan karya ini untuk kedua orang tuaku yaitu Ayahanda dan ibunda tercinta, sosok pejuang dan semangat dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta abang dan Adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.
(QS : Al-Mujadilahk 11)

| Marza Devi |

| 22 Desember 2021 |

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 masa
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

DESAIN KENDALI *POLE PLACEMENT- FUZZY* MAMDANI UNTUK PENGENDALIAN LEVEL PADA *COUPLED TANK*

MARZA DEVI

NIM: 11655203576

Tanggal Sidang : 22 Desember 2021

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Coupled Tank yaitu sebuah tanki yang terhubung dengan tangki yang lain. *Coupled Tank* memiliki parameter yang dapat dikendalikan diantaranya yaitu level, dimana masih terdapat permasalahan yaitu error steady state dan settling time yang lambat. Oleh karna itu untuk mengatasi permasalahan tersebut maka digunakan kendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani pada pengendalian level di tangki dua pada coupled tank dan kendali ini dapat menghilangkan error steady state dan mempercepat settling time. Metodologi pada penelitian ini yaitu, dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada pada sistem dan melakukan perancangan sehingga didapatkan hasil simulasi, kendali pole placement-fuzzy mamdani mendapatkan hasil yang baik dimana kendali ini dapat mengatasi settling time dan error steady state, dimana didapatkan nilai-nilai parameternya adalah ts= 54,09 detik dan ess= 0cm. Dengan demikian kendali ini dapat mengikuti perubahan setpoint yang diberikan, dapat mengatasi dan settling time dan error steady state.

Kata kunci: *Coupled Tank*, *Pole Placement*, *Fuzzy* Mamdani

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
   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.

POLE PLACEMENT CONTROL DESIGN- FUZZY MAMDANI FOR LEVEL CONTROL ON COUPLED TANK

MARZA DEVI

***Number Student* : 11655203576**

Session Date : December 22, 2021

Electrical Engineering Study Program

Faculty of Science and Technology

Sultan Syarif Kasim State Islamic University Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Coupled Tank is a tank that is connected to another tank. Coupled Tank has parameters that can be controlled including level, where there are still problems, namely steady state error and slow settling time. Therefore, to overcome this problem, the Pole Placement – Fuzzy Mamdani control is used to control the level in tank two on the coupled tank and this control can eliminate steady state errors and accelerate the settling time. The methodology in this research is, starting with identifying the problems that exist in the system and designing it so that simulation results are obtained, the pole placement-fuzzy mamdani control gets good results where this control can overcome the settling time and steady state error, where the parameter values are obtained. is ts= 34.09 seconds and ess= 0cm. Thus this control can follow changes in the given setpoint, can overcome and settle time and steady state errors.

Keywords: *Coupled Tank, Pole Placement, Fuzzy Mamdani*

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
   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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "**Desain Kendali *Pole Placement* – *Fuzzy* Mamdani untuk Pengendalian Level Pada *Coupled Tank***".

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

1. Allah Swt yang dengan rahmat-Nya memberikan semua yang terbaik dan yang dengan hidayah-Nya memberikan petunjuk sehingga dalam penyusunan laporan ini berjalan lancar.
2. Kepada ayahanda tercinta Deddi Agustin dan ibunda tercinta Yanti Elvina, yang selalu memberikan motivasi dan doa yang tiada henti – hentinya.
3. Kepada saudara kandung, Muamar Farez, Fadel Febrianza, dan Neza Glavina, yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Hairunas, M.Ag. selaku Rektor Uin Suska Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya..
5. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Uin Suska Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
6. Ibu Zulfatri Aini ST.,MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutipsebagian atau seluruh karya tulis ini tanpamencantumkan dan menyebutkan sumber.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Bapak Sutoyo, ST.,MT selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Uin Suska Riau.
8. Bapak Abdillah S.Si.,MT selaku ketua sidang telah meluangkan waktu untuk memberikan arah tentang keagamaan kepada penulis.
9. Bapak Halim Mudia, ST.,MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Bapak Aulia Ullah, ST.,M.Eng dan Bapak Ahmad Faizal, ST.,M.T selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
11. Bapak Dr. Harris Simaremare ST.,MT selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
12. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Para Sahabat Aulia Ulhamdi, Mhd. Azwar Taruna, Baihaqi Haritsyah, Ahmad Ridwan Syarif, Wahyudi, M. Syuherdi Zul yang telah memberikan dukungan, dorongan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Teman Terbaik (Indah Ramadhani ST, Elvira Syafitri, Leony Monica Adella ST, Tri Parlan Zaputra, Abu Azzid Bustomi, Jamiul Khair dan Arrahim yang telah memberikan dukungan, semangat, dan motivasi serta pengalaman hidup kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
15. ElClasic'16, Instrumentasi 2016 serta teman-teman teknik elektro angkatan 2016 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
16. Serta Teman Teman AHH (Anti Hau-Hau) yang sudah menyemangati penulis.

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

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

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

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh

Pekanbaru,22 Des 2021

Penulis,

Marza Devi

Nim. 11655203576

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 masa
   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

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **ii**
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL ..... **iii**
LEMBAR PERNYATAAN ..... **v**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
ABSTRAK ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
DAFTAR TABEL ..... **xv**
DAFTAR RUMUS ..... **xvi**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xvii**
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang I-1
1.2 Rumusan Masalah I-4
1.3 Tujuan Penelitian I-5
1.4 Batasan Masalah I-5
1.5 Manfaat Penelitian I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Penelitian Terkait II-1
2.2 Landasan Teori II-2
2.2.1 *Coupled Tank System* II-2
2.2.2 Model Matematis Pengendalian Level pada *Coupled Tank* II-3
2.3 Identifikasi Respon *Transient* II-5
2.4 Sistem Kendali II-6
2.4.1 Pengendalian Pole Placement II-7
2.5 Logika *Fuzzy* II-11
2.5.1 Himpunan *Fuzzy* II-11
2.5.2 Fuzzifikasi II-12

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
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 *Fuzzy* II-13
2.5.4 Sistem Inferensi *Fuzzy* Mamdani II-13
2.5.5 Defuzzifikasi II-14
2.6 MATLAB II-15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Proses Alur Penelitian III-1
3.2 Tahap Penelitan III-2
3.3 Pemodelan Matematis *Coupled Tank* III-3
3.4 Validasi Model Matematis III-5
3.5 Skenario Penelitian III-6
3.6 Perancangan Pole Placement III-6
3.7 Perancangan Kendali *Pole Placement* III-12
3.8 Perancangan Pengendali *Fuzzy* Mamdani III-12
3.9 Perancangan Pengendali *Fuzzy* Mamdani dan *Pole Placement* III-16
BAB IV HASIL DAN ANALISA
4.1 Gambaran Umum Analisa IV-1
4.2 Analisa Sistem *Level Coupled Tank* secara Open Loop..... IV-1**Error! Bookmark not defined.**
4.3 Analisa Pengujian Pengendali *Pole Placement* dalam pencapaian *Setpoint* pada *Coupled Tank* IV-3
4.4 Analisa Pengujian Pengendali *Pole Placement*-Fuzzy Dalam Pencapaian Set Point Pada system *Coupled Tank* IV-6
4.5 Perbandingan Respons Sistem Menggunakan Pengendali *Pole Placement* dan Pengendali *Pole Placement* yang Dikombinasikan dengan Pengendali Fuzzy Dalam Pencapaian Set Point Pada Level *Coupled Tank*..... IV-7
4.6 Pengujian Pengendali *Pole Placement* – *Fuzzy* Mamdani Dalam Pencapaian Set Point Pada *Coupled Tank* dengan Perubahan *Setpoint* IV-8
BAB V PENUTUP
5.1 Kesimpulan..... V-1
5.2 Saran V-1
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
DAFTAR RIWAYAT HIDUP

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

Gambar 2.1 *Coupled Tank System* II-3
Gambar 2.2 *Coupled Tank* II-4
Gambar 2.3 Spesifikasi Respon *Transient* II-7
Gambar 2.4 Sistem Servo tipe 1 ..... II-8
Gambar 2.5 Blok Diagram Sederhana Logika Fuzzy II-12
Gambar 2.6 Simbol Matlab 2014a II-15
Gambar 2.7 Tampilan *Command Window* II-16
Gambar 2.8 Kotak Dialog *Simulink Library* II-17
Gambar 3.1 Skema *Flowcart* Penelitian III-2
Gambar 3.2 Rangkaian *Open Loop* III-6
Gambar 3.3 Grafik Respon *Plant* secara *Open Loop* III-7
Gambar 3.4 Rangkaian *Pole Placement* III-13
Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan Error III-14
Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Derror III-14
Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan *Output* III-15
Gambar 3.8 Rangkaian Sistem Kendali Fuzzy Mamdani +Pole Placement III-17
Gambar 4.1 Rangkaian *Simulink Open Loop* IV-2
Gambar 4.2 Grafik Respon sistem *Coupled Tank* secara *Open Loop* IV-2
Gambar 4.3 Rangkaian *Simulink* pengendali *Pole Placement* IV-5
Gambar 4.4 Grafik keluaran Respon Sistem *Coupled Tank* menggunkan *Pole Placement* IV-5
Gambar 4.5 Hasil Respon *Pole Placement – Fuzzy* Pada *Coupled Tank* IV-8
Gambar 4.6 Grafik Respon Sistem *Coupled Tank Pole Placement – Fuzzy* Mamdani dengan Perubahan *Setpoint* IV-11

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

Tabel 3.1 Parameter *Coupled Tank* III-4
Tabel 3.2 *Rule Base Fuzzy*..... III-16
Tabel 4.1 Respons Waktu Sistem *Coupled Tank* secara *Open Loop*..... IV-4
Tabel 4.2 Respons Waktu Sistem *Coupled Tank* Menggunakan *Pole Placement* IV-7
Tabel 4.3 Respons Waktu *Coupled Tank* menggunakan kendali *Pole Placement*-Fuzzy... .....IV-9
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Respons Pengendali *Pole Placement* dengan Pengendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani pada Pencapaian Set Point *Coupled Tank*..... IV-10

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
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

Rumus **Halaman**

Rumus 2.1 Maka persamaan aliran tangki satu II-4
Rumus 2.2 Aliran Kecepatan II-4
Rumus 2.3 Arus Keluar II-4
Rumus 2.4 Turunan Level Tangki 1 ..... II-5
Rumus 2.5 Aliran Masuk II-5
Rumus 2.6 Aliran Keluar II-5
Rumus 2.7 Turunan Level Tangki 2 ..... II-5
Rumus 2.8 *State Space Coupled Tank* II-5
Rumus 2.9 *State Space Coupled Tank* II-5

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SINGKATAN

DOF = *Degree Of Freedoom*
PI = *Proposional Integral*
PID = *Proposional Integral Derivatif*
TITO = *Two Input Two Output*
SISO = *Single Input Single Output*
MATLAB = *Matrix Laboratory*
td = Time Delay
Tr = *Rise Time*
Ts = *Settling Time*

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pengendalian pada industri merupakan faktor penting yang harus diperhatikan untuk kesuksesan tiap proses produksi. Agar produksi tetap tercapai, maka suatu sistem pengendalian sangat diperlukan untuk menjaga kestabilan parameter proses. Parameter pada proses produksi tersebut meliputi: tekanan, laju aliran, suhu, konsentrasi dan level. Level merupakan salah satu parameter yang sangat sering digunakan dalam berbagai proses industri, terutama pada industri kimia yang memerlukan pengolahan fluida.

Pada dunia industri menggunakan banyak *fluida* yang di proses, level merupakan parameter yang penting untuk dikendalikan. Level suatu *fluida* baik dalam pipa, maupun wadah harus diketahui agar dapat dikendalikan. Apabila level suatu cairan tidak dikendalikan, maka akan mengganggu proses-proses yang lain. Pengendalian level *fluida* dalam tanki banyak diaplikasikan dalam industri, sehingga menarik untuk diangkat menjadi topik penelitian tentang fluida dalam tanki, misalnya pengendalian fluida pada *coupled tank* [1].

Level merupakan parameter penting untuk dikontrol. Dalam dunia industri yang menyangkut fluida terdapat banyak fluida yang harus ditempatkan, sehingga kadar fluida baik dalam pipa maupun *container* harus diketahui agar mudah dikendalikan. Jika level cairan tidak terkendali, maka akan mengganggu proses lainnya. Dalam banyak proses industri, tangki vertikal digunakan untuk mengisi minyak atau cairan kimia.Tingkat kontrol digunakan untuk mempertahankan titik nilai yang ditetapkan terhadap nilai yang diberikan agar dapat menerima nilai yang ditetapkan secara dinamis. Dalam proses industri fluida salah satu masalah yang terjadi adalah pengendalian pada *Level Coupled Tank* [1].

Coupled Tank adalah dua tangki yang dihubungkan dengan pipa atau lubang saluran. Hal ini memungkinkan terjadinya interaksi antara dua tangki yang menyebabkan gangguan stabilitas level [2]. Permasalahan pada kontrol *level Coupled Tank* adalah munculnya gangguan pada aliran yang mensuplai tangki akan mengakibatkan respon yang tidak stabil sehingga diperlukan metode pengendalian yang tepat [1]. Penerapan pengaturan *level* pada *Coupled Tank* bersifat respon yang lambat dan pengendaliannya langsung terhubung dengan

kondisi plant saat ini. Atau dapat dikatakan bahwa parameter sistem berubah tergantung pada kondisi pabrik yang sebenarnya. Karena sifatnya, pengaturan *level Coupled Tank* dapat dimasukkan dalam kasus nonlinier [3]. Oleh karena itu, untuk menghasilkan kinerja sistem yang baik, diperlukan strategi pengendalian yang dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi plant. Pada pengaturan *level Coupled Tank*, level pada tangki kedua dipengaruhi oleh cairan tangki pertama. Kemudian perpindahan cairan dari tangki satu ke tangki dua menyebabkan perubahan level cairan di tangki dua. Dalam *leveling*, perpindahan fluida atau fluida biasa disebut dengan *level loading*. Perubahan beban ini dapat mempengaruhi kinerja *Coupled Tank*, oleh karena itu pengendalian ketinggian kedua tangki pada *Coupled Tank* dengan baik bertujuan untuk menjaga kestabilan sistem dalam proses yang berkelanjutan agar efektif dan efisien.

Pole Placement adalah penambahan kutub baru yang diinginkan untuk mendapatkan kinerja atau respons sistem loop tertutup yang lebih baik. Bentuk umum dari pengendali *Pole Placement* terdiri dari precompensator dan pengendali. Pengendali dengan struktur ini adalah pengendali *2-DOF (Degree Of Freedoom*). Peran *Precompensator* adalah untuk mengurangi kesalahan kondisi tunak dan mencapai nilai referensi lebih cepat [4]. Adapun *Pole Placement* yang digunakan untuk mencari nilai *gain* kompensator. Sistem *Pole Placement* ini terdiri dari dua *state* yang ditambah satu *state* untuk mencari nilai dari *gain* kompensator. Kompensator ditambah agar respon yang telah didapat, bisa mengikuti sinyal referensi yang tepat dan benar.

Logika *fuzzy* adalah standar komputasi yang didukung tentang perasaan manusia. Logika fuzzy muncul di bola dunia berkondisi tak terbatas, yang sebagian besar diambil dari pikiran manusia. Informasi kemudian merespons dengan tindakan yang sesuai [5]. Sistem *Fuzzy* atau *Fuzzy Inference System* yang merupakan sekumpulan fungsi dan aturan keanggotaan. Fungsi dan aturan ini digunakan untuk bernalar tentang data. Sistem inferensi *fuzzy* berorientasi pada pemrosesan numerik. Dibutuhkan angka sebagai input, dan kemudian menerjemahkan angka input ke dalam istilah linguistik seperti kecil, sedang dan besar. Terjemahan ini disebut *Fuzzifikasi*. Kemudian tugas aturan adalah memetakan istilah-istilah linguistik yang dimasukkan ke dalam istilah bahasa serupa yang mendeskripsikan hasil. Tugas ini dilakukan oleh mesin *ferency Fuzzy*. Akhirnya, penerjemahan hasil linguistik istilah tersebut ke dalam bilangan hasil dilakukan [5].Terjemahan ini disebut *Defuzzification*.

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa menyebutkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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
UIN SUSKA RIAU

Semua aturan *Fuzzy* dan variabel linguistik disimpan di basis pengetahuan *Fuzzy*. Sistem inferensi *fuzzy* memiliki kemampuan untuk menangani informasi yang tidak tepat [5].

Ada beberapa jenis *Fuzzy* yang telah dipelajari, yaitu *Fuzzy* Mamdani dan *Fuzzy* Sugeno. Perbedaan antara kedua metode ini terletak pada keluaran yang dihasilkan, proses komposisi aturan dan defuzzifikasinya. Pada metode Sugeno, keluaran yang dihasilkan berupa fungsi linier atau konstanta. Keluaran ini berbeda dengan keluaran yang dihasilkan dengan metode *Fuzzy* Mamdani, dimana metode ini menghasilkan sebuah keluaran berupa nilai pada domain himpunan *Fuzzy* yang dikategorikan ke dalam komponen linguistik. Kelemahan dari Output berupa fungsi linier atau konstanta adalah nilai keluaran yang dihasilkan harus sesuai dengan nilai yang telah ditentukan, hal ini menimbulkan masalah apabila nilai Output tidak sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Output ini dapat dikatakan benar jika menampilkan output yang ditentukan oleh anteseden. Oleh karena itu metode *Fuzzy* Mamdani lebih akurat dalam menghasilkan sebuah Output berupa himpunan *Fuzzy*. Dalam pengecekan ketinggian air pada *Coupled Tank* ditemukan bahwa *Fuzzy* tidak dapat memberikan hasil yang baik, seperti jika tekanan ketinggian air akan melonjak lebih tinggi dari biasanya, untuk itu diperlukan sebuah pengontrol yang dapat menyeimbangkan pengaturan ketinggian air dengan menambahkan sebuah pengendali kompensator *Pole Placement*.

Adapun dilakukannya penelitian *Pole Placement* oleh Yogi Ramadhan dengan menggunkaan Motor Dc dimana ditentukannya *Pole* yang terbaik sehingga dengan *Pole* mendapatkan hasil dari penelitian ini yaitu *settling time* dan *Rise Time* nya semakin cepat [6] responnya tidak memiliki *overshoot*, *settling time* 0.4459 detik dan *rise time* 0.2258 detik.

Adapun penelitian yang telah dilakukan oleh M.Nur Qomarudin dengan menggunakan metode pengendali *Fuzzy*-PI untuk mengendalikan level pada *Coupled Tank*. Kekurangan yang ditemukan pada penelitian ini yaitu terjadinya *Overshoot* pada *Setpoint* untuk level tanki pertama. Tetapi, tidak terjadi *Overshoot* pada *Setpoint* untuk level tanki yang kedua. Kekurangan ini tidak bisa diselesaikan oleh pengendali *Fuzzy*-PI [7].

Permasalahan *overshoot* yang ada pada *Coupled Tank* tersebut kemudian diselesaikan oleh Erwin syah dengan mendesain pengendali *fuzzy*-PID *Tuner*. Pada penelitian ini pengendali utama adalah PID, sementara *fuzzy* digunakan sebagai sistem pakar untuk mencari parameter P, I, dan D yang paling baik. Didalam penelitian ini *overshoot* telah menurun untuk setiap pertukaran *setpoint*.Tetapi, faktanya adalah *fuzzy* yang dirancang

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 masa
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

memiliki tingkat kerumitan yang tinggi karena berhubungan dengan kepakaran dalam mencari parameter untuk PID dengan situasi yang berubah. Hal seperti ini yang dapat dilihat dari jumlah himpunan yang digunakan sehingga memberi hasil *rule base* yang banyak [8].

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Sadli yaitu membandingkan pengendali PI dengan *decoupling* dan tanpa *decoupling*, menunjukkan bahwa pengendali PI dengan *decoupling* memiliki respon *transien* yang lebih baik dengan *settling time* berada pada detik ke 38 dan *maximum overshoot* 0% pada kedua tanki. Apabila dibandingkan dengan pengendali PI tanpa *decoupling* dimana *settling itime* berada pada detik ke 78 dan *maximum overshoot* 10.2% pada kedua tanki [2].

Maka algoritma *fuzzy* sebagai pengendali mempunyai kelebihan dan kekurangan. Salah satu kelebihannya adalah tidak memerlukan perhitungan matematika yang sulit karena dipresentasikan dalam bentuk *rule*. Algoritma *fuzzy* ini sebagai pengendali yang mempunyai *rule* lebih sederhana. Namun, beberapa penelitian menyebutkan kelemahan *fuzzy* sebagai pengendali adalah lambat dalam hal merespon *time* yang dihasilkan [5]. Pada penelitian ini penulis menggunakan kendali *Fuzzy* mamdani karena *fuzzy* mamdani sangat baik digunakan untuk tempat yang berubah-ubah, karena seorang perancang sistem kendali *fuzzy* perlu menyesuaikan parameter dan *rules* untuk mendapatkan hasil yang akurat dan mempunyai kestabilan [9]. Berdasarkan pada hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan beberapa kendali yang telah dilakukan pada sistem. Hasil keluaran yang diperoleh dari beberapa kendali sudah baik walaupun masih ada yang belum menghilangkan error steady state dan respon waktu yang lambat. Maka sebaiknya dilakukan kendali yang dipakai untuk mempercepat settling time dan menghilangkan error steady state, juga bisa mampu untuk melalukan perubahan setpoint. Oleh karena itu penulis mengusulkan melakukan penelitian tentang analisis identifikasi sistem di tangki dua pada coupled tank dengan menggunakan kendali pole placement-fuzzy mamdani untuk mengendalikan level. Dengan demikian penulis tertarik untuk mengkaji dan membuat sebuah laporan tugas akhir yang berjudul **"Desain Kendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani untuk Pengendalian Level pada *Coupled Tank*"**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

1. Bagaimana merancang kendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani pada pengendalian level pada sistem *Coupled Tank* tangki dua untuk mengatasi adanya *Error Steady State*?
2. Bagaimana merancang kendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani pada pengendalian level pada sistem *Coupled Tank* tangki dua untuk mengatasi *settling Time* yang lambat?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu

1. Untuk mengatasi *Error Steady State* pada *Coupled Tank* agar mampu mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan dengan *Settling Time* yang lebih cepat.
2. Untuk membuktikan apakah perancangan kendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani bisa diterapkan dan berhasil dalam pengendalian level pada sistem *Coupled Tank*

1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa batasan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Penurunan model matematis sistem level pada sistem *Coupled Tank* mengikuti penelitian Comparative Study of Mamdani-type and Sugeno-type Fuzzy Inference Systems for Coupled Water Tank.
2. Variabel yang akan dikendalikan yaitu Level tangki 2 pada sistem *Coupled Tank*
3. Tidak membahas ataupun pengujian terhadap hardware pada sistem *Coupled Tank*.
4. Perancangan Kendali *Fuzzy* Mamdani menggunakan *rule base* 5x5, fungsi segitiga dengan defuzzifikasi COA
5. Perubahan *Setpoint* dibuat pada Level 8 cm
6. Sistem yang dioperasikan berupa simulasi menggunakan *Software* MATLAB.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat pada penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan rancangan sistem kendali menggunakan *Pole Placement-Fuzzy* Mamdani untuk mengendalikan level air tangki dua pada sistem *Coupled Tank*.

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

2. Dapat dijadikan referensi lanjutan dalam pengaplikasian sistem *Coupled Tank* sebagai sistem kendali proses industri.

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dan terdapat penjelasan tentang landasan teori yang dipakai dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Landasan teori tersebut meliputi teori dalam *Coupled Tank*, Kompensator *Pole Placement*, pemodelan matematis plant, pengendali *Fuzzy* Mamdani dan perangkat lunak MATLAB.

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, *paper*, buku dan sumber lainnya.

Adapun dilakukannya penelitian *Pole Placement* oleh Yogi Ramadhan dengan menggunkaan Motor Dc dimana ditentukannya *Pole* yang terbaik sehingga dengan *Pole* mendapatkan hasil dari penelitian ini yaitu *settling time* dan *Rise Time* nya semakin cepat [6] responnya tidak memiliki *overshoot, settling time* 0.4459 detik dan *rise time* 0.2258 detik.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Bobby Dwi Apriyadi dan Rushdianto Efendie A.K, sebuah *Sliding Mode Controller* berbasis PID dirancang untuk mengontrol *level* pada plant *Coupled Tank*. Pada pengujian, sistem *Open Loop* tanpa *decoupling* menghasilkan *error isteady* sebesar 0,582 pada tangki pertama dan 0,639 pada tangki kedua. Selain itu, metode SMC menghasilkan respon *Steady State* pada 60s dengan *rise time* 30s untuk tangki satu dan respon *steady state* pada 67s dengan *rise time* 34s untuk tangki kedua [10].

Selanjutnya ada juga penelitian yang dilakukan oleh M. Nur Qomarudin, *Coupled Tank* merupakan contoh sederhana dari proses TITO. Proses TITO lebih sulit dikendalikan daripada proses SISO karena terdapat interaksi silang antara variabel input dan output. Tujuannya untuk mengatur ketinggian air di dua tangki dengan dua pompa. Proses ini dikendalikan dengan pengontrol decoupling PI 2 *DOF (Degree Of Freedom)* dan pengontrol PI dengan logika *Fuzzy* yang berfungsi sebagai pengontrol parameter pengontrol PI. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa pengendali PI 2 *DOF* menghasilkan *overshoot* pada setiap perubahan *setpoint* dengan pengendali PI dengan logika *Fuzzy* hanya menghasilkan *overshoot* pada *setpoint* untuk *level* tangki pertama dan tidak menghasilkan *overshoot* pada setpoint untuk *level* tangki yang kedua [7].

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada penelitian Muhammad Sadli, penyusunan *Coupled Tank* dengan sistem SISO (*Single Input Single Output*) menyebabkan terjadinya interaksi silang antara aliran masukan dan aliran keluaran pada sistem *Coupled Tank* sehingga mengakibatkan ketidakstabilan plant. Untuk menyelesaikan permasalahan ini digunakan teknik decoupling, dimana teknik ini mentransformasikan model *plant* TITO ke dalam bentuk model *plant* SISO untuk memudahkan analisis dan perancangan pengendali. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengendali PI dengan teknik decoupling memiliki respon transient yang lebih baik. Pengendali PI dengan decoupling memiliki settling time pada detik ke 38 dengan maximum overshoot 0% pada kedua tangki sementara settling time pengendali PI tanpa decoupling memiliki nilai sebesar 78 detik dengan maximum overshoot sebesar 10,2% pada kedua tangki [2].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Coupled Tank System*

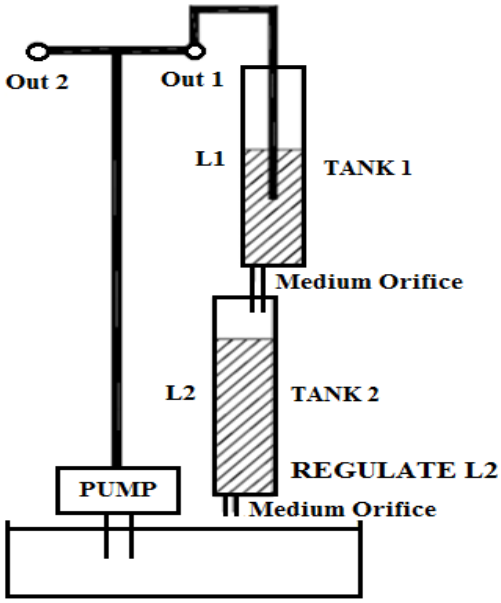
Coupled Tank merupakan plant nonlinier yang tersusun dari dua buah tangki yang dihubungkan oleh sebuah pipa atau lubang saluran. Cara kerja dari *Tank* ini yaitu dengan mengendalikan aliran dan laju kecepatan air disalah satu tangki sesuai kebutuhan. Sistem *Coupled Tank* terdiri dari 2 tangki vertikal yang dihubungkan oleh pipa aliran. Dimana hal ini menyebabkan level dari kedua tangki tersebut berinteraksi satu sama lain. Setiap tangki memiliki pompa untuk masuk ke aliran air, jika salah satu tangki mengalami gangguan maka akan terjadi perubahan level di antara keduanya. Inilah yang perlu dikontrol. Sistem Tangki Berpasangan dapat dikonfigurasi sebagai sistem *SISO (Single Input Single Output)* atau *TITO (Two Input Two Output)* dengan memanipulasi input pompa dan area bagian katup [1].

Sistem Coupled Tank juga mencakup dua buah tangki yang dipasang di atas reservoir yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan cairan. Ini memiliki pompa independen untuk memompa cairan dari reservoir ke tangki. Kedua tangki tersebut terhubung secara interaktif. Ketika dua tangki disambungkan, cairan di kedua tangki menunjukkan perilaku non-linier. *Fluida* menemui hambatan ketika mengalir melalui saluran seperti pipa. Jika aliran *fluida* melalui pipa dalam kondisi aliran turbulen, laju aliran keluaran menjadi fungsi dari akar kuadrat tinggi tangki. Koefisien pembuangan cairan yang mengalir keluar dari tangki dapat divariasikan dengan menggunakan katup [11]

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

2.2.2 Model Matematis Pengendalian Level pada *Coupled Tank*

Pemodelan matematis merupakan proses menggambarkan suatu hubungan matematika dengan masalah yang ada, yang dianggap sulit agar menjadi lebih mudah dan lebih jelas dengan dituangkan dalam bentuk model atau gambar [12]. Berdasarkan hal tersebut, maka penggunaan pemodelan matematis akan memberikan kemudahan bagi banyak orang untuk menyelesaikan permasalahan matematika.



Gambar 2.1 *Coupled Tank* [13]

Berdasarkan pada gambar 2.1 maka persamaan aliran tangki satu pada *Coupled Tank* sebagai berikut [13]:

$$F_{1in} = K_m V_p \; cm^3/detik \tag{2.1}$$

Dimana :

F_{1in} = Aliran Masukan Tangki satu

K_m = Pompa Konstan (cm^3/detik)/Volt

V_p = Tegangan yang diberikan ke pompa (Volt)

Kecepatan aliran didapatkan dari persamaan Bernoulli untuk lubang kecil dapat direpresentasikan sebagai berikut [13]:

$$V_o = \sqrt{2\,g\,L_1} \; cm/sec \tag{2.2}$$

Dimana :

g = Percepatan gravitasi (cm/detik^2)

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

L_1 = Tinggi permukaan air dalam tangki satu (cm)

Dari persamaan (2.1) dan persamaan (2.2) maka diperoleh persamaan tingkat arus keluar sebagai berikut [13]:

$$F_{1in} - F_{1out} = K_m V_p - \alpha_1 \sqrt{2\, g\, L_1}\ cm^3/sec \qquad (2.3)$$

Dimana :

F_{1in} = Aliran masukan tangki satu

F_{1out} = Aliran keluaran tangki satu

K_m = Pompa konstan (cm^3/detik)/Volt

V_p = Tegangan yang diberikan ke pompa (Volt)

α_1 = Luas Penampang tangki satu (cm)

g = Percepatan gravitasi (cm/detik^2)

L_1 = Tinggi permukaan air dalam tangki satu (cm)

Turunan dari level tangki 1 adalah :

$$\dot{L}_1 = -\frac{\alpha_1}{A_1}\sqrt{\frac{g}{2\ L_{10}}}\, L_1 + \frac{K_m}{A_1} V_p \qquad (2.4)$$

Dimana A_1 adalah diameter tangki 1

Maka persamaan pada tangki dua untuk arus masuk dan arus keluar adalah sebagai berikut [13]:

$$F_{1in} = \alpha_1 \sqrt{2\, g\, L_1}\ cm^3/sec \qquad (2.5)$$

$$F_{2out} = \alpha_2 \sqrt{2\, g\, L_2}\ cm^3/sec \qquad (2.6)$$

Dimana :

F_{1in} = Aliran masuk tangki satu

α_1 = Luas Penampang tangki satu (cm)

g = Percepatan gravitasi (cm/detik^2)

L_1 = Tinggi permukaan air dalam tangki satu (cm)

F_{2out} = Aliran Keluaran tangki dua

α_2 = Luas penampang tangki dua (cm)

L_2 = Tinggi permukaan air dalam tangki dua (cm)

$$\dot{L}_2 = -\frac{\alpha_2}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\, L_{20}}}\, L_2 + \frac{\alpha_1}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\, L_{10}}}\, L_1 \qquad (2.7)$$

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

Jika $x_1 = L_1$ dan $x_2 = L_2$ maka persamaan state dari sistem *Coupled Tank* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\dot{x}_1 = -\frac{\alpha_1}{A_1}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{10}}}\,x_1 + \frac{K_m}{A_1}V_p \tag{2.8}$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{\alpha_2}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{20}}}\,x_2 + \frac{\alpha_1}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{10}}}\,x_1 \tag{2.9}$$

Dimana :

α_1 = Luas Penampang tangki satu (cm)

A_1 = Diameter pada tangki satu (cm^2)

g = Percepatan gravitasi (cm/detik^2)

L_{10} = Tangki satu (cm)

K_m = Pompa konstan (cm^3/detik)/Volt

V_p = Tegangan yang diberikan ke pompa (Volt)

α_2 = Luas penampang tangki dua (cm)

A_2 = Luas penampang tangki dua (cm^2)

L_{20} = Tangki dua (cm)

2.3 Identifikasi Respon *Transient*

Pengendalian *Level* pada *Coupled Tank* merupakan sistem berorde dua, oleh sebab itu metode identifikasi yang dilakukan adalah metode identifikasi statis. Metode identifikasi dilakukan dengan pendekatan grafis, dimana sinyal uji diberikan pada sistem untuk mengetahui respon *open loop* sistem. Dari respon sistem, dapat diketahui karakteristik-karakteristik penting dari sistem dalam menggolongkan identifikasi karakteristik tanggapan sistem suatu sistem kontrol terhadap masukan tangga satuan, umumnya dikelompokkan sebagai berikut :

1. Waktu tunda (td)

Waktu tunda adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai nilai setengah dari harga *setpoint*.

2. Waktu Naik / *Rise Time (tr)*

Waktu naik yaitu waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95% atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang biasa digunakan. Untuk respon atas redaman waktu biasanya digunakan 10% menjadi 90% [14] .

3. *Error Steady State*

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
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.

Error Steady State yaitu selisih dari nilai sistem dari kondisi stabil dengan nilai akhir sebelum mencapai kondisi stabil. Besar nilai *Error Steady State* dinyatakan dalam bentuk koefisien *error* yang ditentukan oleh *type* dan *Input* dari sistem.

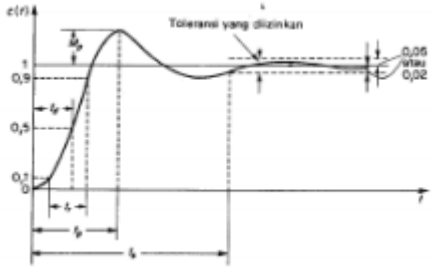
Maximum Overshoot

Maximum overshoot yaitu nilai puncak kurva tanggapan yang diukur dari satuan. Apabila nilai akhir tanggapan lebih dari 1, maka bisa digunakan % *Overshoot maximum* [15] yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$mp = \frac{c(tp)\infty}{c\infty}$$

Waktu Penetapan / *Settling Time (ts)*

Waktu penetapan yaitu diperlukan sistem untuk mencapai dan menetapkan dalam daerah sekitar daerah akhir yang diukurnya ditentukan dengan persentase mutlaks dari harga akhir (biasanya 2% atau 5%) [16]



Gambar 2.3 Spesifikasi Respon *Transient*

2.4 Sistem Kendali

Sistem kendali dapat diartikan sebagai memerintah, mengatur dan mengarahkan baik secara aktif maupun dinamis. Perancangan sistem kendali disesuaikan pada elemen apa yang akan diatur, diperintah ataupun diarahkan tergantung pada keinginan perancangannya [16]. Sistem kendali dimaknai sebagai hubungan berbagai komponen hidrolik, elektrik, mekanik bahkan parameter dan variabel sosial, biologi, keuangan dengan tujuan mendapatkan fungsi yang diinginkan secara efisien dan akurat. Saat ini kemajuan dalam teori dan aplikasi kendali otomatis telah banyak menawarkan kinerja optimal untuk suatu sistem dinamik, meningkatkan produktifitas, menyederhanakan operasi manual yang sering dilakukan berulang-ulang, maka banyak insinyur dan ilmuwan sekarang ini telah memiliki pemahaman yang baik tentang kendali otomatis [14].

Istilah dasar sistem kendali yaitu [14] :

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 masa
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

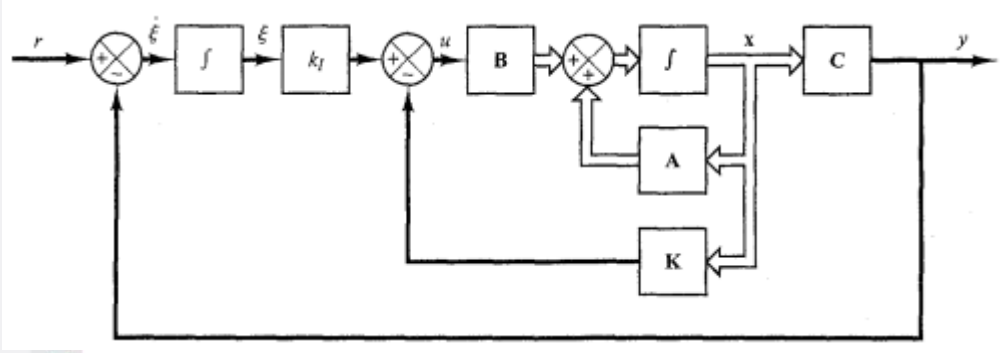
1. Variabel terkendali (*controled variable*) dan variabel termanipulasi (*manipulated variable*). Variabel terkendali merupakan kuantitas atau kondisi yang diukur dan dikendalikan. Adapun variabel termanipulasi merupakan kuantitas atau kondisi yang diubah oleh kendali sehingga dapat mempengaruhi nilai variabel terkendali, yang biasanya merupakan keluaran sistem.
2. *Plant*. Sebuah *plant* dapat berupa peralatan dan instrumen yang difungsikan sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan. Contoh *plant* misalkan peralatan mekanik, tungku bakar, reaktor kimia, pesawat luar angkasa dan sebagainya.
3. Proses. Berbeda dengan *plant*, sebuah proses merupakan prosedur dan mekanisme yang dikendalikan sama seperti pada *plant*. Kendali sistem pemisahan cairan kimia, distilasi merupakan sistem kendali yang bekerja pada sebuah proses.
4. Sistem. Semua komponen yang berhubungan dan memiliki tujuan tertentu, termasuk efisiensi, otomasi dan optimasi membentuk sebuah sistem
5. Gangguan (*disturbance*). Pada sistem rill, gangguan hampir selalu dijumpai dan sering kali berpengaruh pada stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan ini dapat disebabkan oleh sistem itu sendiri (*internal disturbance*) maupun gangguan luar sistem (*eksternal disturbance*).
6. Kendali umpan balik (*feedback control*). Adanya gangguan, perbedaan antara keluaran dengan masukan acuan sulit diprediksi mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak tercapai. Untuk itu, diperlukan umpan baliak keluaran untuk dibandingkan dengan masukan acuan sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan, diminimalkan secara otomatis.

2.4.1 Pengendalian Pole Placement

Pole Placement adalah metode kontrol yang digunakan dalam teori sistem kontrol umpan balik untuk menempatkan *pole* baru pada *loop* tertutup yang telah ditentukan sebelumnya. Agar *pole* persamaan karakteristik bisa ditempatkan sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukanlah dengan memilih gain yang tepat terlebih dahulu sehingga sistem harus dipastikan terkontrol [17]. Pada gambar 2.2 merupakan pendekatan *pole placement* untuk desain sistem servo tipe 1, seperti dibawah ini :

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 masa
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

UIN SUSKA RIAU



Gambar 2.4 Sistem Servo tipe 1

Dengan *plant* persamaan *state space* :

$$\dot{x} = A_x + B_u$$

$$y = C_x$$

$$u = -K_x + k_1\xi$$

$$\dot{\xi} = r - y = r - C_x \qquad (2.10)$$

Dimana :

u = Sinyal Kontrol

y = Sinyal Output

ξ = Output Integrator

r = Sinyal ireferensi

A = Matriks Konstan

B = Matrik Konstan

C = Matrik Konstan

Dengan mempertimbangkan $\dot{\xi}$ yaitu sebagai salah satu *state*nya, maka :

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \xi \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r \qquad (2.11)$$

Desain *Pole Placement* harus membuat sistem menjadi stabil sehingga $x(\infty)$, $\xi(\infty)$ dan $u(\infty)$ mendekati nilai konstan maka, $\dot{\xi} = 0$ sehingga $y(\infty) = r$. Pada keadaan *steady state* persamaan 2.10 menjadi :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(\infty) \\ \dot{\xi}(\infty) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(\infty) \\ \xi(\infty) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u(\infty) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r(\infty) \qquad (2.12)$$

Karena $r(t)$ adalah sinyal step maka $r(\infty) = r(t) = r$ yang bernilai konstan. Mengurangi persamaan 2.11 dengan 2.12 maka didapatkan :

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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.
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) - & x(\infty) \\ \dot{\xi}(t) - & \xi(\infty) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) - & x(\infty) \\ \xi(t) - & \xi(\infty) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u(t) - u(\infty) \quad (2.13)$$

Anggaplah bahwa :

$x(t) - x(\infty) = x_e\ (t)$

$\xi(t) - \xi(\infty) = \xi_e\ (t)$

$u(t) - u(\infty) = \xi_e\ (t)$ (2.14)

Maka persamaan 2.13 dapat ditulis kembali menjadi :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_e(t) \\ \dot{\xi}_e(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e\ (t) \\ \xi_e\ (t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u_e\ (t) \quad (2.15)$$

Dimana :

$u_e\ (t) = k_1 \xi_e\ (t) - k x_e\ (t)$ (2.16)

Definisikan *error state augmented* $e(t)$ maka :

$$e(t) = \begin{bmatrix} x_e(t) \\ \xi_e(t) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Persamaan 2.13 menjadi :

$\dot{e} = \hat{A}_e + \hat{B}_u$ (2.18)

Dimana :

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix}$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Persamaan 2.16 menjadi :

$u_e = -\dot{K}_e$ (2.20)

Dimana :

$\hat{k} = [k \ \vdots \ k_1]$ (2.21)

Nilai $\hat{k}$ dicari dengan metode *Pole placement*.

Sistem dapat dikatakan terkontrol (*Controlability*) jika semua *state* pada sistem dapat dibawa dalam keadaan yang diinginkan dengan menggunakan sinyal kontrol dalam waktu tertentu atau secara singkat sistem dikatakan terkontrol jika sinyal kontrol dapat mengontrol *state* sistem. Secara numerik masalah pada kekontrolan (*Controlability*) dapat diselesaikan dengan melihat rank dari matriks :

$M = [\ B\ \ AB\ \ A^2B ... A^{n-1}B]$

Dimana :

M = Matriks Kekontrolan

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa menantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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
UIN SUSKA RIAU

n = Orde Sistem

Jika rank matriks tersebut terpenuhi maka disistem dapat dikatakan terkontrol. Cara untuk mengecek kepenuhan matriks rank bisa dengan cara melihat determinan dari M, jika $detM \neq 0$ maka rank sistem penuh dan terkontrol (*Controllable*) dan jika $detM = 0$ maka rank sistem penuh dan sistem tidak terkontrol (*Uncontrollable*) .

Bentuk polinomial karakteristik untuk A:

$|sI - A| = s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \cdots + a_{n-1} s + a_n$

Tentukan nilai $a_1, a_2, \ldots a_n$

Tentukan matriks transformasi T :

$T = MW$

Dimana :

$\hat{M} = [\hat{B} \vdots \hat{A}\hat{B} \vdots \hat{A}^2\hat{B}]$

Dan :

$$W = \begin{bmatrix} a_2 & a_1 & 1 \\ a_1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Kemudian dengan polinomial karakteristik :

$(s - \mu_1)(s - \mu_2) \cdots (s - \mu_n) = s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \cdots + a_{n-1} s + a_n$

Dan tentukan nilai $a_1, a_2, \ldots, a_n$

Matriks *state feedback gain* untuk *K* dapat ditentukan dari persamaan sebagai berikut :

$K = [(a_n - a_n)(a_{n-1} - a_{n-1}) \vdots \cdots \vdots (a_1 - a_1)]T^{-1}$

Sehingga *state feedback gain* matriks K :

$K = [k_1 \quad k_2 \quad k_3]$

Keterangan :

k_1= *Gain State Feedback*

k_2= *Gain State Feedback*

k_3= *Gain State Kompensator*

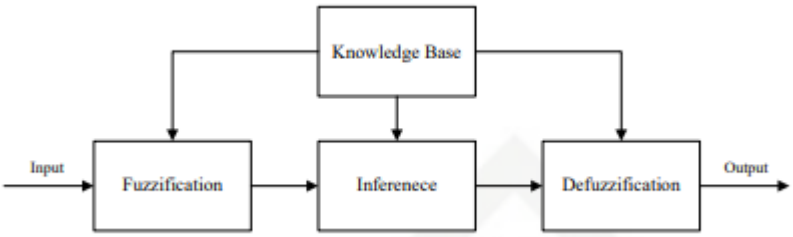
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
b. 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
UIN SUSKA RIAU

2.5 Logika *Fuzzy*

Logika *Fuzzy* merupakan salah satu cabang dari sistem kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) yang mengevaluasi kapabilitas manusia dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Sekitar tahun 1965, Profesor Lotfi A. Zadeh adalah seorang profesor di University of California yang merupakan pencetus sekaligus memasarkan gagasan tentang mekanisme pemrosesan atau pengelolaan ketidakpastian yang kemudian dikenal dengan logika Fuzzy. Teknik fuzzy dapat diimplementasikan pada bidang sistem kendali, pengenalan pola, pengolahan citra, analisis kuantitatif dalam penelitian sosial, penarikan kesimpulan seperti ES (Sistem Pakar), perencanaan, prediksi, teknik pembuatan perangkat lunak, dll.

Dalam hal ini kita akan membahas tentang logika Fuzzy sebagai pengontrol atau bisa disebut FLC (Fuzzy Logic Controller) [18].

Secara umum, sistem pengendali logika *Fuzzy* terdiri dari empat komponen utama yaitu Fuzzifikasi, *Knowledge Base, inference* dan Defuzzifikasi. Berikut blok diagram sederhana logika fuzzy seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Blok Diagram Sederhana Logika *Fuzzy*

Fuzzifikasi mengubah input numerik menjadi nilai input variabel linguistik fuzzy. Basis Pengetahuan terdiri dari basis aturan yang menghubungkan nilai linguistik variabel input dan output untuk memenuhi tujuan desain logika fuzzy. Proses inferensi menghubungkan input dan output berdasarkan rule base dan menghasilkan kesimpulan berupa nilai linguistik variabel output. Defuzzifikasi mengubah nilai linguistik dari variabel keluaran menjadi nilai keluaran yang tajam yang dihasilkan dari proses inferensi [18].

2.5.1 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* adalah himpunan yang menyatakan situasi dan kondisi dalam sistem Fuzzy. Himpunan *fuzzy* dibuat berdasarkan pernyataan yang digunakan untuk memperlebar range fungsi dari karakteristik yang ditentukan sehingga fungsi tersebut akan melibatkan

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta 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 masa
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

bilangan real dan range (0,1). Dalam himpunan *Fuzzy* nilai keanggotaan selalu 0 atau 1 tetapi adaiuga nilai yang berada di antara nilai 0 dan 1.

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: MUDA,PAROBAYA, TUA.
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 40, 25, 50, dan sebagainya.

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 keseluruhan nilai yang dibolehkan dalam sistem *Fuzzy* dengan kata semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat bernilai positif maupun negatif.
4. Domain, Domain himpunan Fuzzy adalah keseluruhan nilai yang dibolehkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan Fuzzy[15]. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain juga bisa bernilai positif maupun negative.
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 [19]. Fungsi keangggotaan bisa berupa segitiga, trapesium, dll.

2.5.2 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses perubahan nilai crisp/perusahaan dari variabel input menjadi nilai linguistik berupa derajat keanggotaan setiap himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*) dari variabel input. Untuk mengubah crisp input menjadi *fuzzy* input, terlebih dahulu anda harus menentukan fungsi keanggotaan untuk input crisp, kemudian proses fuzzifikasi akan mengubah input crisp dan membandingkannya dengan fungsi keanggotaan yang ada untuk menghasilkan harga input *fuzzy* [20].

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 masa
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

UIN SUSKA RIAU

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 [21]. 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 outputnya.
3. Berdasarkan model *Fuzzy* dari sebuah sistem, maksudnya gambaran lingustik 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 [22]
2. Hitung penyulutan untuk semua aturan yang dibuat mengacu pada derajat sepadaman yang telah dibuat dan penghubung (fungsi logika seperti AND, OR, dll) yang digunakan oleh variabel input dalam bagian premis dari iaturan [22].
3. Lakukan implikasi fuzzy berdasarkan kuat penyulutan dan himpunan Fuzzy yang telah terdefinisi untuk semua variabel input di bagian konsenkuensi dari setiap aturan. Hasil dari ini 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 memoditifikasi daerah *Fuzzy*, dan dilakukan aplikasi menggunakan operator OR ke output sistem, maka output akan berisi suatu himpunan *Fuzzy* yang merefleksi kontribusi setiap posisi [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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

2. Metode *Additive* (*Sum*)

Pada metode sum untuk mendapatkan himpunan Fuzzy dengan melakukan *bounded-sum* kesemua daerah *Fuzzy* [19]

3. Metode Probalistik OR (Probor)

Metode Probor untuk mendapatkan nilai himpunan Fuzzy dengan melakukan product kesemua daerah Fuzzy [19].

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 nonfuzzy [21]. Adapun metode untuk defuzzifikasi pada Fuzzy mamdani adalah sebagi berikut:

1. Metode *Centroid*

Untuk mendapatkan nilai tegas pada metode centroid dengan cara mengambil nilai pusat dari daerah Fuzzy.

$$Z = \frac{\int_z zu(z)dz}{\int_z u(z)dz} \tag{2.21}$$

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.

$$Z = \int_{p}^{\Re n} u(z)dz \tag{2.22}$$

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.

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*.

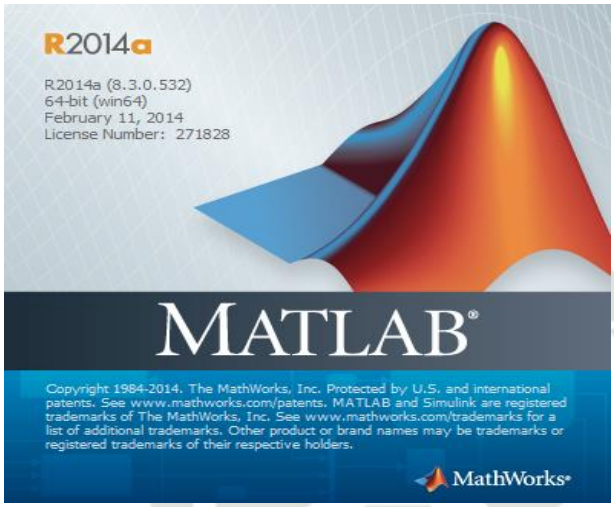
5. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

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

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 masa
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
Islamic University of Sultan Syarif Kasim
UIN SUSKA RIAU

2.6 MATLAB

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan salah satu bahasa pemograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [23].



Gambar 2.6 Simbol Matlab 2014a

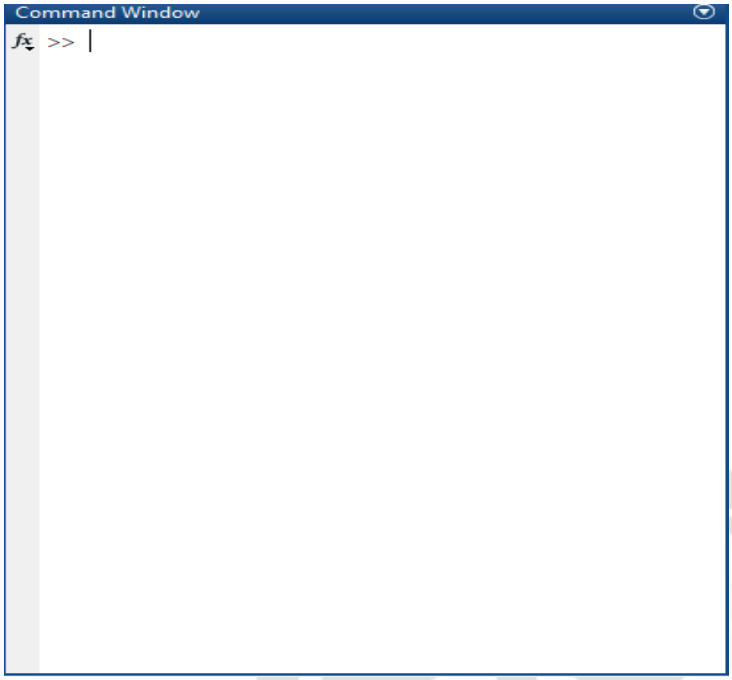
Matlab adalah *software* yang dikembangkan oleh Mathworks.Inc. *Software* ini menggunakan bahasa pemograman tingkat tinggi berdasarkan pada matriks dan digunakan untuk teknik komputasi numerik, menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Matlab banyak digunakan dibidang matematika dan komputasi, pengembangan dan algoritma, pemograman modeling, simulasi, pembuatan *prototype*, analisa data, eksplorasi dan visualisasi, analisis numerik dan *statistic*, dan pengembangan aplikasi teknik [23]

Pada perangkat lunak Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu [23]:

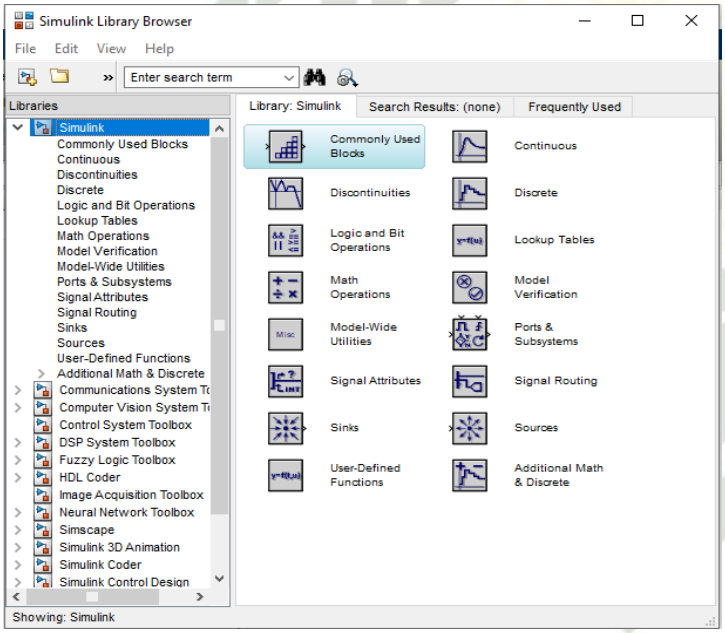
1. *Command Window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Current Directory* digunakan untuk menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan Matlab.
3. *Command History* berfungsi untuk mengembalikan yang telah digunakan
4. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab

Pada penelitian ini dilakukan pemograman modeling dan simulasi untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. Fitur Matlab yang digunakan untuk simulasi ini disebut *simulink*.

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
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 2.7 Tampilan *Command Window*



Gambar 2.8 Kotak dialog *Simulink Library*

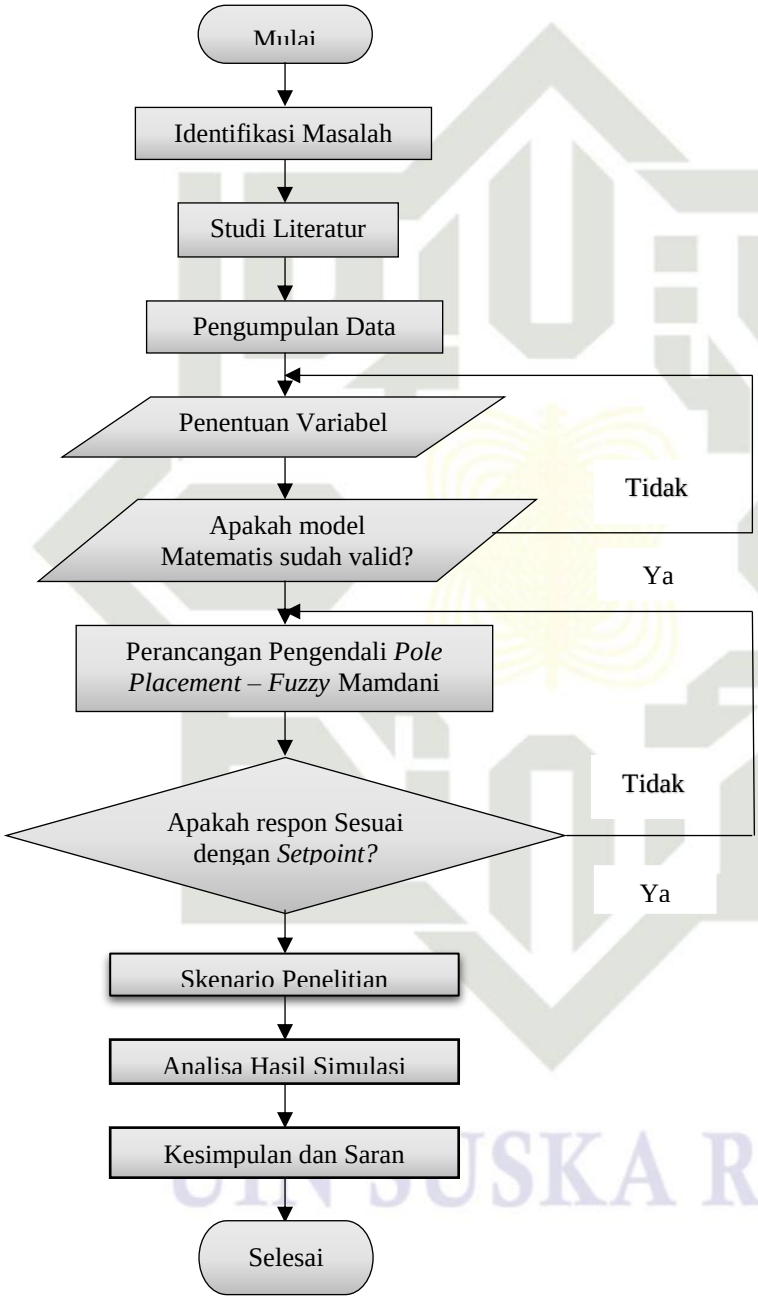
UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian

Ada beberapa tahap yang dilakukan penulis dalam penelitian ini mulai dari studi literatur, pemodelan sistematis, perancangan pengendali dan juga hasil akhir dalam penelitian tugas akhir ini. Adapun tahap-tahap yang dilakukan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

3.2 Tahap Penelitan

Adapun tahap penelitian dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Identifikasi Masalah

Masalah yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah mendapatkan nilai *Setpoint* yang diinginkan pada *Coupled Tank* secara *Open Loop* dan menghilangkan *Error Steady State* serta mendapatkan respon sistem yang baik yang dihasilkan setelah penambahan pengendali *Pole Placement* menggunakan metode logika *Fuzzy*

2. Studi Literatur

Studi literatur merupakan penelitian yang dilakukan oleh peneliti dengan mengumpulkan informasi dari buku, jurnal, *e-book*, dll yang berkaitan dengan masalah dan tujuan penelitian. Pada studi literatur hal yang digunakan yaitu mencari referensi dari berbagai sumber yang berhubungan dengan sistem kendali pengaturan level air pada *coupled tank*

3. Pengumpulan Data

Di tahap pengumpulan data ini data-data terkait akan dikumpulkan untuk mengetahui tipe/karakteristik dari sistem, seperti pengumpulan data-data yang berhubungan dengan perancangan pengendali serta *State space* yang akan diuji.

4. Penentuan Variabel

Setelah nilai masing-masing variabel pada tahap pegumpulan data didapatkan, kemudian variabel-variabel tersebut disubtitusikan dalam bentu persamaan dibawah ini :

$$\dot{x}_1 = -\frac{\alpha_1}{A_1}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{10}}}\,x_1 + \frac{K_m}{A_1}V_p \tag{2.8}$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{\alpha_2}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{20}}}\,x_2 + \frac{\alpha_1}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{10}}}\,x_1 \tag{2.9}$$

5. Validasi Model Matematis *Coupled Tank*

Pada tahap ini menguji pemodelan matematis sistem *Coupled Tank* dengan *State Space* yang dimasukkan kedalam simulasi Matlab. Sehingga hasil keluaran sama dengan jurnal yang telah dilakukan sebelumnya, jika hasil keluaran belum sama maka diperlukannya pengecekan kembali pada data yang telah dikumpulkan.

6. Rancangan Pengendali

Penelitian ini menggunakan pengendali *Pole Placement* yang ditambahkan dengan Pengendali *Fuzzy* Mamdani untuk mengatasi *Error Steady State* dan mendapatkan

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

respon sistem yang baik dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya kedalam program Matlab berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *Setpoint* 10cm.

7. Skenario Penelitian Penelitian ini menggunakan kendali *Pole Placement* menggunakan Logika *Fuzzy* dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya kedalam program Matlab berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *Setpoint* 10cm. Grafik yang diambil yaitu berdasarkan simulasi sistem secara *Open Loop*, grafik pengujian menggunakan pengendali *Pole Placement-Fuzzy* Mamdani, Pengujian perubahan *Setpoint* dari nilai *setpoint* yang telah ditentukan.
8. Analisa Hasil Simulasi

   Setelah dilakukan perancangan pengendali kemudian disimulasikan dan respon sistem tercapai dengan apa yang diinginkan maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa respon tersebut, namun apabila belum maka dilakukan perancangan pengendali kembali.
9. Kesimpulan dan Saran

   Setelah semua tahap telah dilakukan dan tujuan dari hasil telah terpenuhi maka dapat ditarik kesimpulan serta memberikan saran untuk dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

3.3 Pemodelan Matematis *Coupled Tank*

Berdasarkan persamaan 2.8 dan 2.9 model *state space* sistem level pada *Coupled Tank* dengan memasukkan nilai nilai parameter terdapat pada tabel 3.1 maka didapatkan hasil *state space* sebagai berikut :

Tabel 3.1 Parameter *Coupled Tank* [13]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Diameter pada Tank 1	A_1	15,579	cm^2
Diameter pada Tank 2	A_2	15,579	cm^2
Gravitasi	g	980	cm
Pompa Konstan	Km	4,6	$(cm^3/detik)/Volt$
Level Air Tangki 1	L_2	Terukur	cm
Level Air Tangki 2	L_1	Terukur	cm
Luas Penampang Tangki 1	α_1	0,17813919765	cm

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

Luas Penampang Tangki 2	α_2	0,17813919765	cm
Tegangan Pompa (max)	V_p	22	Volt
Tangki 1 Titik Kerja	L_{10}	15	cm
Tangki 2 Titik Kerja	L_{20}	15	cm

Model *plant* dari *Coupled Tank* ini terdiri dari dua buah *state* yaitu x_1 dan x_2. Linearisasi dilakukan pada titik kerja x_1 = 15 cm dan x_2 = 15 cm.

Berikut adalah persamaan *State Space* dari hasil linearisasi :

$$x^* = [15\ 0]^T$$
$$= [0\ 15]^T \qquad (3.1)$$

Sistem nonlinear dapat didekati menjadi sistem linear berdasarkan hasil linearisasi disekitar titik kerjanya, dengan matrik A sebagai matrik *Jacobi* dari $f(x)$. Dan dapat direpresentasikan dalam persamaan 2.8 dan 2.9 pada Bab II. Dari model matematika *coupled tank* dibawah ini :

$$\dot{x}_1 = -\frac{\alpha_1}{A_1}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{10}}}\,x_1 + \frac{K_m}{A_1}V_p$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{\alpha_2}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{20}}}\,x_2 + \frac{\alpha_1}{A_2}\sqrt{\frac{g}{2\,L_{10}}}\,x_1$$

Kemudian masukkan nilai parameter sistem ke persamaan diatas:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{0.17813919765}{15.5179}\sqrt{\frac{980}{2(15)}} & 0 \\ \frac{0.17813919765}{15.5179}\sqrt{\frac{980}{2(15)}} & -\frac{0.17813919765}{15.5179}\sqrt{\frac{980}{2(15)}} \end{bmatrix}$$

Dengan nilai matriks A,B,C adalah :

$$A = \begin{bmatrix} -0.0649 & 0 \\ 0.0649 & -0.0649 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.2964 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Karena u atau V_p hanya terdapat pada *state* 1 (x_1) maka terlihat seperti dibawah ini :

$$y = [c_1\ c_2]\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$C = [c_1 c_2]$$

$$C = [1\ \ 0]$$

Sehingga persamaan linier sistemnya menjadi seperti dibawah ini :

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 masa
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 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -0.0649 & 0 \\ 0.0649 & -0.0649 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.2964 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

Maka *state space* pada *coupled tank* didapatkan seperti dibawah ini :

$$A = \begin{bmatrix} -0.0649 & 0 \\ 0.0649 & -0.0649 \end{bmatrix}$$

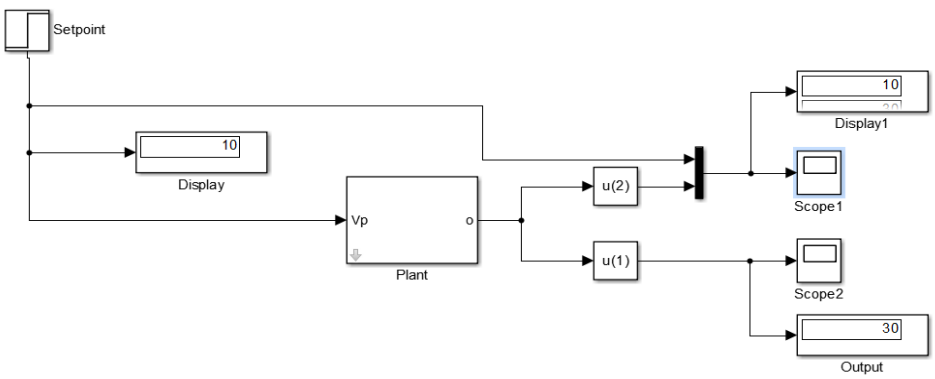
$$B = \begin{bmatrix} 0.2964 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = [0]$$

3.4 Simulasi dan Verifikasi *Plant Coupled Tank*

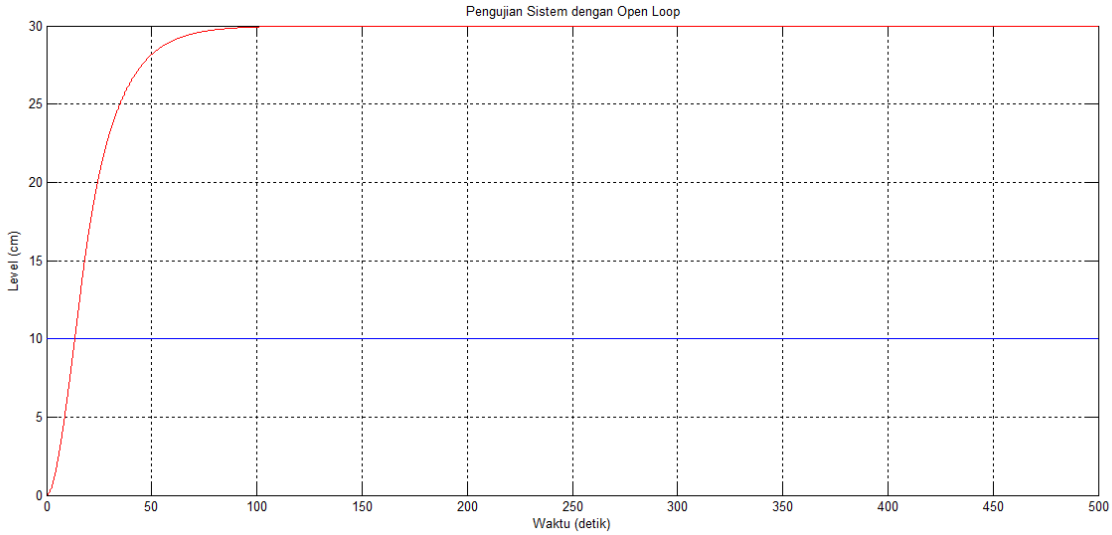
Untuk memvalidasi model matematis maka dilakukan perbandingan persamaan matematis *Coupled Tank* yang diturunkan penulis dengan penelitian [13], Pengujian pada plant coupled tank dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak simulink Matlab dengan setpoint 10 cm, dengan menggunakan state space naka dilakukan pengujian secara open loop pada plant coupled tank seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.2 Rangkaian *Open Loop*

Maka hasil dari *respon transien* pada plant seperti gambar 3.3 dibawah ini :

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutipsebagian atau seluruh karya tulis ini tanp
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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
sumber:
UIN SUSKA RIAU



Gambar 3.3 Grafik Respon sistem *plant* secara *Open Loop*

Dari respon *output* sistem *plant level coupled tank* pada gambar 3.3 terlihat bahwa hasil respon sistem stabil, namun sistem tidak dapat mengikuti nilai setpoint yang diinginkan. Pada gambar 3.3 diatas menunjukkan nilai setpoint sebesar 10 cm, namun hasil respon keluaran sistem menunjukkan nilai melewati yaitu 30 cm.

3.5 Skenario Penelitian

Pada skenario penelitian ini model matematis harus disimulasi dengan beberapa skenario yang dimana skenario tersebut menghasilkan satu grafik. Penelitian ini menggunakan pengendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam program Matlab, berdasarkan parameter penelitian terkait dengan *Setpoint* 10cm. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian dengan melihat hasil grafik pada simulasi, data yang diambil yaitu respon *transient* dari pengujian tersebut. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu :

1. Simulasi sistem secara *Open Loop*
2. Simulasi Sistem menggunakan pengendali *Pole Placement*
3. Simulasi menggunakan pengendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani
4. Simulasi kendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani dalam mengatasi perubahan *Setpoint*.

3.6 Perancangan Pole Placement

Untuk mencari nilai *gain* kompensator dilakukan menggunakan teknik *Pole Placement*. Sistem ini terdiri dari dua buah *state* dan ditambah satu buah *state* untuk mencari

UIN SUSKA RIAU
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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.
uruh karya tulis ini dapat mencantumkan dan menyebutkan sumber:

gain kompensator. Untuk mendapatkan respon yang memiliki maksimum *overshoot* 16.3% dan *settling time* yang cepat maka penempatan *pole* sebagai berikut:

$$s1 = -1 + j\sqrt{3} \qquad s2 = -1 - j\sqrt{3} \qquad s3 = -0.01 \tag{3.2}$$

Pembuktian untuk memiliki maksimum *overshoot* 16.3% sebagai berikut :

$$(s + 1 - j\sqrt{3})\,(s + 1 + j\sqrt{3})$$

$$s^2 + s + j\sqrt{3}s + s + 1 + j\sqrt{3} - j\sqrt{3}s - j\sqrt{3} - (j\sqrt{3})^2 \tag{3.3}$$

dimana $j^2 = -1$

$$s^2 + 2s + 1 - (j\sqrt{3})$$

$$s^2 + 2s + 1 - (j^2\sqrt{3})^2$$

$$s^2 + 2s + 1 - (-1(3))$$

$$s^2 + 2s + 1 - (-3)$$

$$s^2 + 2s + 4 \tag{3.4}$$

Dari :

$$s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2 \tag{3.5}$$

diperoleh :

$$w_n^2 = 4$$

$$w_n = 2 \tag{3.6}$$

Dan :

$$2\zeta w_n = 2$$

$$\zeta = \frac{2}{2w_n}$$

$$\zeta = \frac{2}{4} = 0.5 \tag{3.7}$$

Overshoot maksimum sebagai berikut :

$$M_p = e^{-(\sigma/w_d)\,\pi} \tag{3.8}$$

Dengan :

$$w_d = w_n\sqrt{1 - \zeta^2}$$

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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
UIN SUSKA RIAU

$$w_d = 2\sqrt{1 - 0.5^2}$$

$$w_d = 1.732 \tag{3.9}$$

Dan maka sebagai berikut :

$$\sigma = w_n \zeta$$

$$\sigma = 2(0.5) = 1 \tag{3.10}$$

Sehingga *overshoot* maksimum :

$$M_p = e^{-(\sigma/\omega d)}\pi$$

$$M_p = e^{-(\frac{1}{1.732})^{3.14}}$$

$$M_p = 0.163 \tag{3.11}$$

Jadi persen *Overshoot* maksimum sebagai berikut :

$$\%M_p = 0.163 \times 100\% = 16.3\% \tag{3.12}$$

Gain kompensator ditambahkan agar respon dapat mengikuti sinyal referensi dengan tepat. Sehingga dengan kontrol Loop tertutup kompensator dirancang berdasarkan perbandingan sinyal referensi dan sinyal aktual. Sehingga didapat persamaan sistem sebagai berikut :

$$\dot{x} = A_x + B_u$$

$$y = C_x$$

$$u = K_x + K_c\xi$$

$$\xi = r - y = r - C_x \tag{3.13}$$

Karena sinyal referensi r(t) adalah unit *step input*, maka didapatlah *state error* sebagai berikut :

$$\dot{e} = \hat{A}_{\dot{e}} + \hat{B}_{u_e} \tag{3.14}$$

Dengan nilai matriks $\hat{A}$ dan $\hat{B}$ sebagai berikut :

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0649 & 0 & 0 \\ 0.0649 & -0.0649 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} B_1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.2964 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.15}$$

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

Sinyal Kontrol berupa :

$$u_e = -\hat{K}_e \tag{3.16}$$

Dimana :

$$\hat{K} = [K \mid -kr] = [k_1 k_2 k_c] \tag{3.17}$$

Rank matriks P :

$$P = \begin{bmatrix} A & B \\ -C & 0 \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

$$P = \begin{bmatrix} -0.0649 & 0 & 0.2964 \\ 0.0649 & -0.0649 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Diketahui rank matriks P adalah 3 (setiap baris dan kolom pada matriks 3x3 diatas ada nilainya atau tidak semua pada garis dan kolom bernilai 0), maka sistemnya *completely state controllable* dan memungkinkan untuk *arbitrary pole placement*.

Selanjutnya :

$$|sI - \hat{A}| = \left| s\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0.0649 & 0 & 0 \\ 0.0649 & -0.0649 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right|$$

$$|sI - \hat{A}| = \left| \begin{bmatrix} s & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0.0649 & 0 & 0 \\ 0.0649 & -0.0649 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right|$$

$$|sI - \hat{A}| = \begin{vmatrix} s + 0.0649 & 0 & 0 \\ -0.0649 & s + 0.0649 & 0 \\ 1 & 0 & s \end{vmatrix}$$

$$|sI - \hat{A}| = \begin{matrix} s + 0.0649 & 0 & 0 \\ -0.0649 & s + 0.0649 & 0 \\ 1 & 0 & s \end{matrix} \begin{matrix} s + 0.0649 & 0 \\ -0.0649 & -0.0649 \\ 1 & 0 \end{matrix}$$

$$|sI - \hat{A}| = (s + 0.0649)(s + 0.0649)(s) + (0)(0)(1) + (0)(-0.0649)(0)$$
$$- (0)(s + 0.0649)(1) - (s + 0.0649)(0)(0) - (0)(-0.0649)(0)$$

$$|sI - \hat{A}| = (s + 0.0649)(s + 0.0649)(s)$$

$$|sI - \hat{A}| = (s^2 + 0.0649s + 0.0649s + 0.0042)(s)$$

$$|sI - \hat{A}| = s^3 + 0.1298s^2 + 0.0042s + 0$$

Dengan ketentuan :

$$s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 \tag{3.19}$$

Sehingga didapat :

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$a_1 = 0.1298, \quad a_2 = 0.0042, \quad a_3 = 0$ (3.20)

Untuk mendapatkan respon yang memiliki maksimum *overshoot* 16.3% dan settling time yang cepat maka penempatan *Pole* dilakukan pada :

$s_1 = -1 + j\sqrt{3} \qquad s_2 = -1 - j\sqrt{3} \qquad s_3 = -0.01$

$$\left(s + 1 - j\sqrt{3}\right)\left(s + 1 + j\sqrt{3}\right)(s + 0.01)$$

$$\left(s^2 + s + j\sqrt{3s} + s + 1 + j\sqrt{3} - j\sqrt{3s} - j\sqrt{3} - j\sqrt{3}\right)^2)(s + 0.01) \quad (3.21)$$

Dimana $j^2 = -1$

$$\left(s^2 + 2_s + 1 - j\sqrt{3}\right)^2 (s + 0.01)$$

$$\left(s^2 + 2s + 1 - (j^2\sqrt{3}^2)\right) ((s + 0.01)$$

$$\left(s^2 + 2s + 1 - (-1(3))\right) (s + 0.01)$$

$$\left(s^2 + 2s + 1 - (-3)\right) (s + 0.01)$$

$$\left(s^2 + 2s + 4\right) (s + 0.01)$$

$$\left(s^3 + 2.01s^2 + 4.02s + 0.04\right) \quad (3.22)$$

Dengan ketentuan :

$$\left(s^3 + \beta_1 s^2 + \beta_2 s + \beta_3\right) \quad (3.23)$$

Sehingga didapat :

$\beta_1 = 2.01, \qquad \beta_2 = 4.02, \qquad \beta_3 = 0.04$ (3.24)

Transformasi matriks T :

$T = MW$ (3.25)

Dimana :

$M = [\hat{B} \ \vdots \ \hat{A}\hat{B} \ \vdots \ \hat{A}^2\hat{B}]$

$$M = \begin{bmatrix} 0.2964 & -0.0192 & 0.0013 \\ 0 & \vdots \ 0.0192 & \vdots \ -0.0025 \\ 0 & -2.964 & 0.0013 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.2964 & -0.0192 & 0.0013 \\ 0 & 0.0192 & -0.0013 \\ 0 & -0.0192 & 0.0013 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

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 masa
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
UIN SUSKA RIAU

Dan :

$$W = \begin{bmatrix} a_2 & a_1 & 1 \\ a_1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.0042 & 0.1298 & 1 \\ 0.1298 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Maka :

$$T = MW$$

$$T = \begin{bmatrix} 0.2964 & -0.0192 & 0.0013 \\ 0 & 0.0192 & -0.0013 \\ 0 & -0.0192 & 0.0013 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0042 & 0.1298 & 1 \\ 0.1298 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 0.00005272 & 0.01927272 & 0.2964 \\ -0.000007848 & 0.0192 & 0 \\ -0.03717272 & -0.2964 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Dimana :

$$\bar{K} = [\beta_3 - a_3 \ \vdots \ \beta_2 - a_2 \ \vdots \ \beta_1 - a_1]$$

$$\bar{K} = [0.04 - 0 \ \vdots \ 4.02 - 0.0042 \ \vdots \ 2.01 - 0.1298]$$

$$\bar{K} = [0.04 \quad 4.0158 \quad 1.8802] \quad (3.29)$$

Berdasarkan teknik *Pole Placement* diatas, didapatlah nilai gain kompensator yang diinginkan yaitu :

$$\bar{K} = [\beta_3 - a_3 \ \vdots \ \beta_2 - a_2 \ \vdots \ \beta_1 - a_1]T^{-1}$$

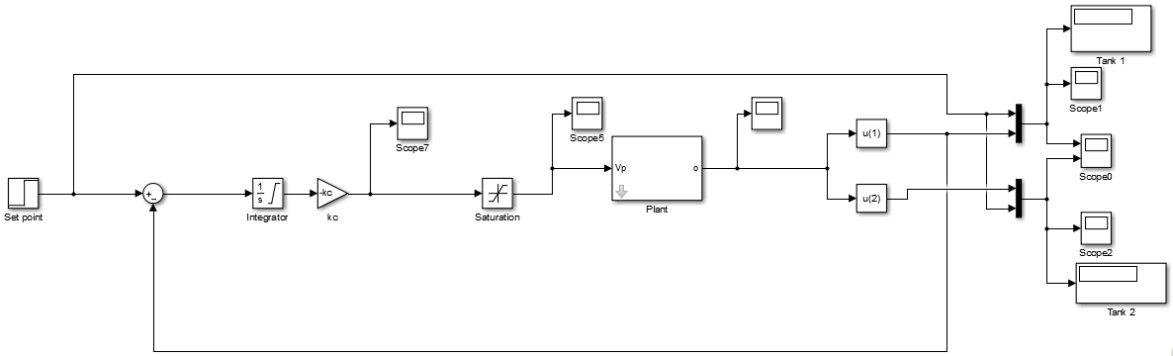
$$\bar{K} = [0.04 \quad 4.0158 \quad 1.8802]T^{-1}$$

$$\bar{K} = [k_1 \quad k_2 \quad k_c] = [6.343 \quad 185.711 \quad -1.106] \quad (3.30)$$

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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
UIN SUSKA RIAU

3.7 Perancangan Kendali *Pole Placement*

Setelah mendapatkan perancangan *Pole Placement* kemudian dirancang Pengendalian *Pole Placement* pada *Simulink* Matlab, seperti gambar 3.4 dibawah ini :



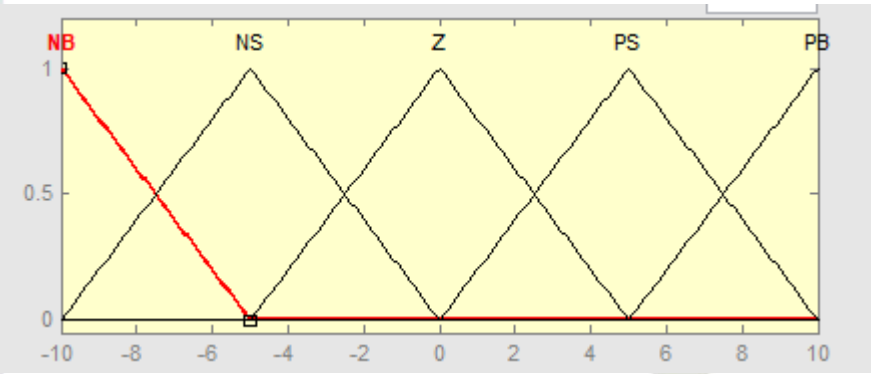
Gambar 3.4 Rangkaian *Pole Placement*

3.8 Perancangan Pengendali *Fuzzy* Mamdani

Metode Mamdani adalah metode yang paling banyak digunakan pada dalam literature Penulis menggunakan rule base 5x5 untuk sistem inteferensi fuzzynya maka terdapat 5 himpunan fuzzy pada input dan outputnya yaitu NB (Negatif Big), NS (Negatif Small), Z (Zero), PS (Positif Small), PB (Positif Big). Semakin banyak partisipasi dari himpunan fuzzy pada ruang input dan output menghasilkan pendekatan yang baik terhadap sistem atau proses [21]. Variabel input dan output fuzzy penulis menggunakan 2 input yaitu error dan derror dan satu output, untuk fungsi keanggotaan penulis menggunakan bentuk segitiga (triangle) dan trapesium (trapezium), penggunaan jenis trapesium adalah untuk mencari nilai rata kiri dan rata kanan, penggunaan jenis segitiga untuk menentukan nilai tengahnya. Adapun tahap perancangannya dapat dilihat sebagai berikut:

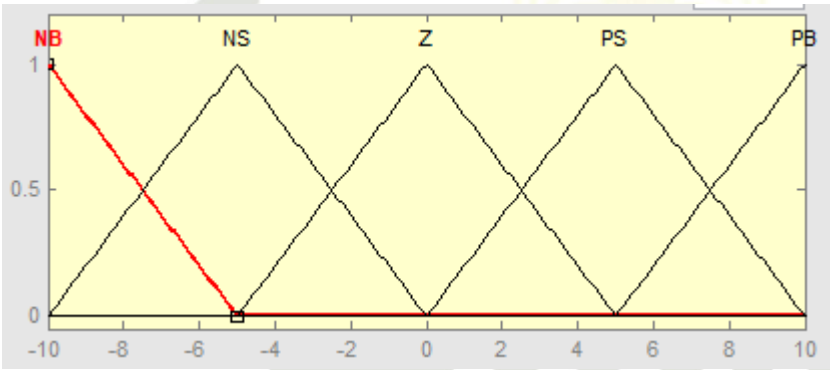
1. Fuzzifikasi, perancangan fuzzifikasi dalam pemodelan ini, adapun pada input error didefenisikan berdasarkan setpoint yang diberikan pada *plant* [24], maka penulis menggunakan error dengan range [-10 10] dan untuk delta error dengan range [-10 10] karena plant adalah sistem stabil maka error sekarang dan error sebelum bernilai sama, untuk outputnya dengan range [-10 10] berdasarkan keluaran setpoint yang akan diberikan pada plant, berikut adalah fuzzifikasi dari perancangan fuzzy pada penelitian ini:

UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Di
1. Dilarang
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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.
ruh karya tulis tanpa merugikan dan menyebutkan sumber.
© Hak C
ska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan error

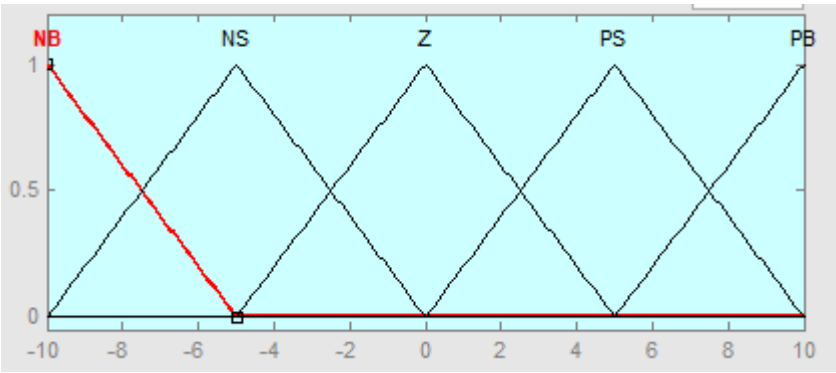
Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan error yang mana penulis menggunakan fungsi keanggotaan yang sempit yang bertujuan untuk menghasilkan rise time yang lebih cepat akan tetapi apabila terlalu sempit membuat sistem berosilasi [21]. Fungsi keanggotaaan NB dan PB berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-14.89 -9.894 -4.894] dan [5 10 15], fungsi keanggotaan NS, Z, dan PS berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-10 -5 0], [-5 -5.551e-17 5], dan [0 5 10].



Gambar 3.6 fungsi keanggotaan *Derror*

Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan derror yang mana penulis menggunakan fungsi keanggotaan yang lebih sempit dari error karena di fungsi keanggotaan derror tidak terlalu sempit maka pada derror bisa dipersempit lagi tujuannya untuk mempercepat rise time dan error steady stade yang lebih kecil [21]. Fungsi keanggotaan NB dan PB berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-15 -10 -5] dan [5 10 15], fungsi keanggotaan NS, Z, dan PS berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-10 -5 0], [-5 0 5], dan [0 5 10].

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
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 3.7 Fungsi keanggotaan *output*

Penentuan fungsi keanggotaan output merupakan perioritas yang pertama dari sistem Fuzzy karena memiliki pengaruh yang besar dalam hal stabilitas dan osilasi sistem [21], maka penulis menggunakan fungsi keanggotaan pada umumnya yaitu mengambil di titik crossover 0.5 [21]. Mengambil nilai tengah bertujuan agar sistem lebih stabil. Adapun semua fungsi keanggotaannya berbentuk segitiga untuk NB direntang [-15 -10 -4.998], NS direntang [-10 -4.998 0], Z direntang [-5.002 0 5.002], PS direntang [0 4.998 10] dan PB direntang [4.998 10 15].

2. *Rule Base*, untuk mengetahui derajat keanggotaan maka dilakukan basis aturan dari sistem Fuzzy tersebut, dalam penelitian ini penulis menggunakan pendekatan heuristik untuk menentukan *rule base*-nya. Pendekatan heuristik adalah pendekatan yang membangun rule base berdasarkan pengeksporasian pengetahuan pakar dan analisa prilaku sistem pendekatan ini prilaku sistemnya berdasarkan pengetahuan sistem secara kualitatif [21], adapun rule base yang penulis buat adalah:

if (error is nb) and (Derror is nb) then (output is nb)
if (error is nb) and (Derror is ns) then (output is nb)
if (error is nb) and (Derror is z) then (output is nb)
if (error is nb) and (Derroriis ps) then (output is ns)
if (error is nb) and (Derror is pb) then (output is z)
if (error is ns) and (Derror is nb) then (output is nb)
if (error is ns) and (Derror is ns) then (output is nb)
if (error is ns) and (Derror is z) then (output is ns)
if (error is ns) and (Derror is ps) then (output is z)
if (error is ns) and (Derror is pb) then (output is ps)
if (error is z) and (Derror is nb) then (output is nb)

© Hak cipta milik UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
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.

if (error is z) and (Derror is ns) then (output is ns)

if (error is z) and (Derror is z) then (output is z)

if (error is z) and (Derror is ps) then (output is ps)

if (error is z) and (Derror is pb) then (output is pb)

if (error is ps) and (Derror is nb) then (output is ns)

if (error is ps) and (Derror is ns) then (output is z)

if (error is ps) and (Derror is z) then (output is ps)

if (error is ps) and (Derror is ps) then (output is pb)

if (error is ps) and (Derror is pb) then (output is pb)

if (error is pb) and (Derror is nb) then (output is z)

if (error is pb) and (Derror is ns) then (output is ps)

if (error isipb) and (Derror is z) then (output is pb)

if (error is pb) and (Derror is ps) then (outputiis pb)

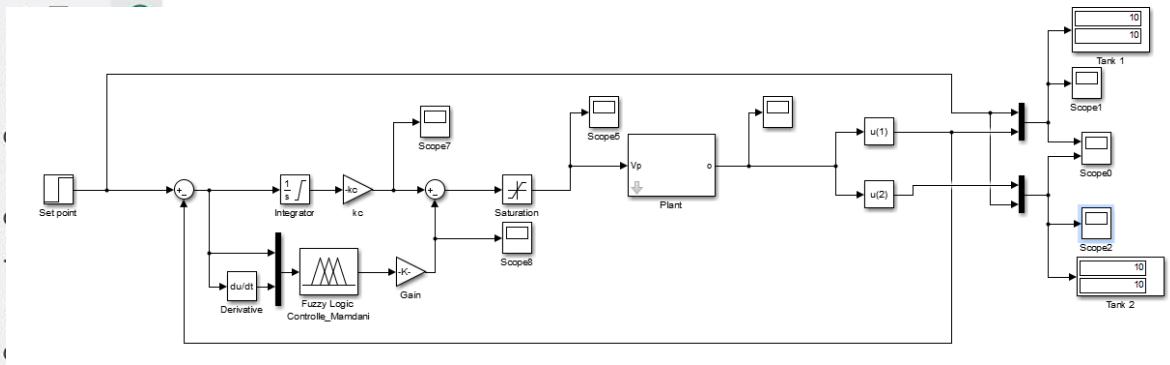
if (error is pb) and (Derror is pb) then (output is pb)

Tabel 3.2 *Rule Base Fuzzy*

Derror / *Error*	nb	ns	Z	Ps	pb
nb	nb	nb	Nb	Ns	z
ns	nb	nb	Ns	Z	ps
z	nb	ns	Z	Ps	pb
ps	ns	Z	Ps	Pb	pb
pb	z	ps	Pb	Pb	Pb

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
UIN SUSKA RIAU

3.9 Perancangan Pengendali *Fuzzy* Mamdani dan *Pole Placement*



Gambar 3.8 Rangkaian sistem kendali *Fuzzy* Mamdani dan *Pole Placement*

Maka setelah didapatkannya pengendali *Fuzzy Logic* dengan metode Mamdani kemudian untuk merancang sistem metode *Pole Placement* yaitu dengan menggabungkan pengendali tersebut dan dihubungkan pada *level Coupled Tank*. Adapun rangkaiannya seperti gambar diatas.

UIN SUSKA RIAU
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
-Undang
ian 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 masa
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 simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa kendali pole placement dapat mempercepat settling time dan menghilangkan error steady state pada tangki dua pada coupled tank. Dengan pole placement fuzzy mamdani dapat mempercepat settling time dan menghilangkan error steady state dengan nilai settling time 54,09 detik dan error steady state 0 cm. Saat diberikan perubahan setpoint dengan 8 cm dengan waktu 250 detik di tangki dua pada coupled tank kendali pole placement-fuzzy mamdani mampu dalam mengikuti perubahan setpoint dan mampu mempertahankan kekokohannya pada perubahan setpoint.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan kendali pole placement-fuzzy mamdani menunjukkan bahwa kendali bisa mengikuti setpoint yang diberikan dan memiliki respon transient yang bagus. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan kendali yang baru untuk mengatasi masalah yang terjadi di open loop yaitu memiliki error steady state yang besar.

UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim
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 masa
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] Dian Mursyitah, “"Desain Pengendali Hybrid Fuzzy-SSMC Untuk Pengendalian Level Pada Coupled Tank",” *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI)*, p. 10, 2019.

[2] M. Sadli, *Disain Kontroler PI dengan Decoupling pada Sistem Kendali Level Pada Coupled Tank"*, vol. 1, p. 7, 2014.

[3] J. P. Shaumi Arif Al Faizin, *"Disain dan Implementasi kontroler fuzzy-supervised PID berbasis PLC pada sistem Kontrol Level Cairan Couple Tank"*, vol. 2, p. 6, 2013.

[4] H. N. Prakasa, *Perbandingan Kinerja Pengendalian Sistem Tiga Tangki Antara Metode Pole Placement, Incremental Control dan Model Predictiv Control"*, p. 65, 2009.

[5] J. Singla, *"Comparative Study of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Diagnosis of Diabetes"*, p. 6, 2015.

[6] Y. Ramadhan, *"Kendali Posisi Motor DC Dengan Menggunakan Pole Placement"*, p. 5.

[7] M. N. Qomarudin, *Kontroler Fuzzy-PI untuk Plant Coupled-Tank*, p. 15, 2013.

[8] E. Syah, *“Pengendalian Level pada Coupled Tank Menggunakan Pengendali Fuzzy - PID Tuner"*, no. Teknik Elektro, Fakultas Sain dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau, 2016.

[9] Y. N, *Desain Sistem Pengendali Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Pengendali Hybrid Logika Fuzzy-PID*, no. Jur. Tek. Elektro UIN Suska Riau, 2018.

[10] B. D. A. d. R. E. A.K, *"Perancangan Sliding Mode Controller untuk Sistem Pengaturan Level dengan Metode Decoupling pada Plant Coupled Tanks"*, vol. 6, p. 6, 2017.

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

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 masa
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

[11] J. A. Jhon, *"Modelling and Control of Coupled Tank Liquid Level System using Backstepping Method"*, vol. 4, no. 06, p. 5, 2015.

[12] P. D. D. Kerami, *"Konsep Umum Model dan Model Matematis"*, p. 41.

[13] H. Mudia, *"Comparative Study of Mamdani-type and Sugeno-type Fuzzy Iference Systems for Coupled water Tank"*, vol. 1, p. 9, 2018.

[14] O. Katsuhiko, "Teknik Kontrol Automatik", vol. 1, Jakarta, 1995.

[15] b. W., "Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol", Jakarta, 2006.

[16] K. Ogata, Modern Control Engineering", New Jersey, 2010.

[17] K. Ogata, "Modern Control Engineering", New Jersey, 2002.

[18] T. Ross, "Fuzzy Logic With Engineering Applications", USA, 2010.

[19] S. Kusumadewi, "Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab, yogyakarta, 2002.

[20] K. Lee, "First Course on Fuzzy Theory and Applications", German, 2005.

[21] D. A. R. Wati, "Sistem Kendali Cerdas", Yogyakarta, 2011.

[22] T. S. Widodo, "Sistem Neuro Fuzzy", Yogyakarta, 2005.

[23] B. Cahyono, *"Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) dalam Pembelajaran Aljabar Linier"*, vol. 1, p. 18, 2013.

[24] B. Triadmojo, Metode Numerik, Yogyakarta, Indonesia: Beta Offset, 2010.

[25] O. Katsuhiko, *"Teknik Kontrol Automatik"*, vol. 1, 1995.

[26] E. Yazid, *Penerapan Kendali Cerdas pada Sistem Tangki Air Menggunakan Logika Fuzzy*, vol. 9, p. 13, 2009.

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 masa
   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.

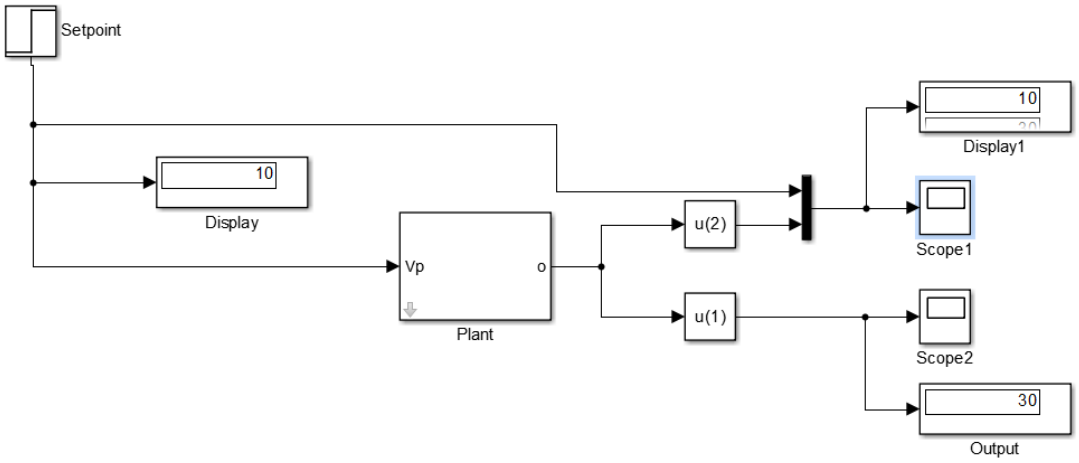
©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

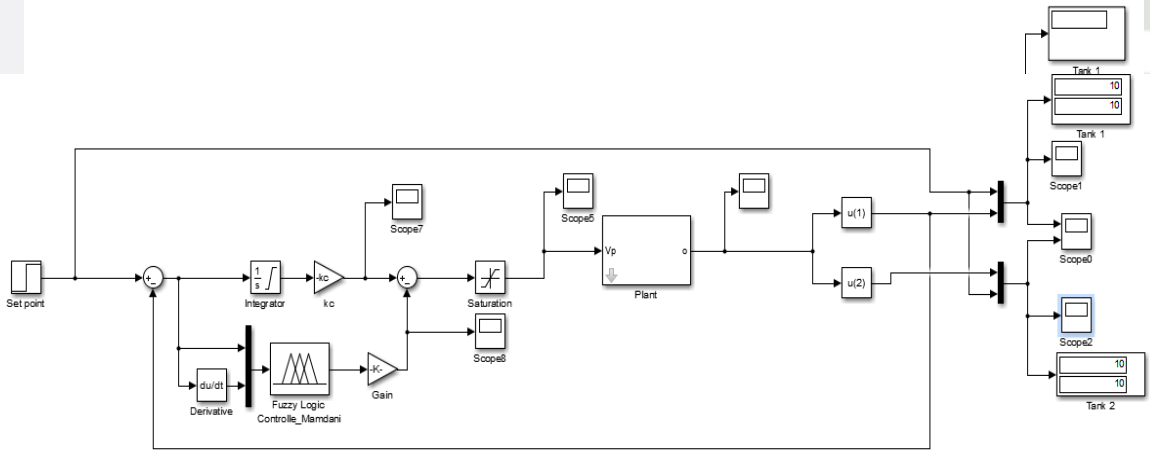
UIN SUSKA RIAU

LAMPIRAN A

Blok Simulink *Open Loop Coupled Tank*



Blok Simulink *Coupled Tank* dengan pengendali *Pole Placement*



Blok Simulink *Coupled Tank* dengan Pengendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani

© Hak cipta milik 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.
UIN SUSKA RIAU

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Marza Devi Devanaa, lahir pada tanggal 05 April 1999 sebagai anak kedua dari Bapak Deddi Agustin dan Ibu Yanti Elvina dengan jumlah saudara sebanyak 4 saudara. Beralamat di Jl. Ampera Ujung, Kelurahan Pematang Pudu, Kecamatan Mandau, Kabupaten Bengkalis, Riau. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 040 Mandau dan lulus pada tahun 2010, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Mandau dan lulus pada tahun 2013, selanjutnya melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 4 Mandau. Kemudian setelah lulus SMA pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Islam Negei Sultan Syarif Kasim Riau dengan Program Studi Teknik Elektro. Pada semester 5 penulis mengambil konsentrasi Elektronika Instrumentasi dan lulus pada tahun 2021.

Dengan karunia Allah SWT, ketekunan serta rasa motivasi yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan manfaat dan kontribusi untuk siapa saja yang membutuhkannya.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul **"Desain Kendali *Pole Placement – Fuzzy* Mamdani Untuk Pengendalian Level Pada *Coupled Tank*".**

No. HP : 085384781885

Email : pipidevana5@gmail.com

UIN SUSKA RIAU

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

Hak Cipta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
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.