

**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.



Oleh :

ZANA AZRA

11655203581

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2021

LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN PENGENDALIAN *LEVEL* PADA *COUPLED TANK* DENGAN *POLE PLACEMENT-FUZZY* SUGENO

TUGAS AKHIR

oleh:

ZANA AZRA
11655203581

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di
Pekanbaru, pada tanggal 23 Desember 2021

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**


Digitally
Signed by
Zulfatri Aini
Tanggal:
2022.01.14
07:56:21 WIB

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

Pembimbing I



Halim Mudia,ST.,MT
NIK. 130517053

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN PENGENDALIAN *LEVEL* PADA *COUPLED TANK*
DENGAN *POLE PLACEMENT-FUZZY SUGENO*

TUGAS AKHIR

oleh:

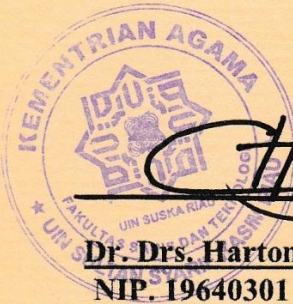
ZANA AZRA
11655203581

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 23 Desember 2021

Pekanbaru, 23 Desember 2021

Mengesahkan,

Dekan



Dr. Drs. Hartono, B.A., M.Pd
NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Program Studi

Teknik Elektro

Digitally
signed by
Zulfatri Aini
Tanggal:
2022.01.14
07:57:10
WIB

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

Dewan Penguji :

Ketua **Dr. Liliana., S.T., M.Eng**

Digitally
signed by
Liliana
Tanggal:
2022.01.13
17:12:53 WIB

Sekretaris **Halim Mudia., S.T., M.T**

Anggota 1 **Ahmad Faizal., S.T., M.T**

Ahmad Faizal
2022.01.10
08:46:03
+07'00'

Anggota 2 **Aulia Ullah., S.T., M.Eng**



ampiran Surat :

Nomor : Nomor 25/2021

Tanggal : 0 September 2021

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : ZANA AZRA

NIM : 11655203581

Tempat/Tgl Lahir : DURI, 14-MARET-1998

Fakultas/Pascasarjana : SAINS DAN TEKNOLOGI

: TEKNIK ELEKTRO

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

SAJIN PENGENDALIAN LEVEL PADA COUPLED TANK DENGAN POLE PLACEMENT-

WZZY SGENO

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan Disertai/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.

2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.

3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.

4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/(Karya Ilmiah lainnya)* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan peraturan perundang-undangan.

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

Pekanbaru, 19 JANUARI 2022

Yang membuat pernyataan



ZANA AZRA

NIM : 11655203581

• Pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Statistik University of Sultan Syarif Kasim Riau



LEMBAR PERNYATAAN

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

Pekanbaru, 23 Desember 2021
Yang membuat pernyataan,

ZANA AZRA
NIM. 11655203581

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

Hak Cipta Atas Karya Ilmiah 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 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



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

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

(HR. Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah...

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

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

(QS: Al-Mujadilah 11)

Ku persembahkan karya ini untuk Ayah tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibu tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, 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.

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

(QS: Al-Isra 80)

UIN SUSKA RIAU

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



DESAIN PENGENDALIAN *LEVEL* PADA *COUPLED TANK* DENGAN *POLE PLACEMENT-FUZZY SUGENO*

ZANA AZRA

NIM : 11655203581

Tanggal Sidang : 23 Desember 2021

Program Studi Teknik Elektro Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Coupled tank merupakan sebuah tangki terhubung dengan tangki yang lain, dimana *coupled tank* memiliki parameter yang dapat dikendali diantaranya adalah *level*. Pada faktanya, *level* ditangki dua *coupled tank* tidak sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan rancangan kendali *pole placement-fuzzy sugeno* untuk mengatasi *error steady state* dan respon waktu yang lambat pada tangki dua di *coupled tank*. Metode yang digunakan yaitu kendali *pole placement-fuzzy sugeno*, berdasarkan hasil penelitian ini terlihat bahwa Penelitian ini berhasil menghasilkan kendali *pole placement-fuzzy sugeno* yang mampu mengatasi permasalahan *settling time* dan *error steady state* pada *plant coupled tank* ditangki dua hal ini bisa terlihat dari nilai $t_s = 5404$ detik dan $e_{ss} = 0$ cm dan Pada kendali *pole placement-fuzzy sugeno* dapat mempercepat *settling time* dan menghilangkan *error steady state*.

Kata Kunci : *Coupled Tank, Pole Placement, Fuzzy Sugeno*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



DESAIN PENGENDALIAN LEVEL PADA *COUPLED TANK* DENGAN *POLE PLACEMENT-FUZZY SUGENO*

ZANA AZRA

Student Number : 11655203581

Date of Final Exam : 23 December 2021

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Coupled tank is a tank connected to another tank, where the coupled tank has controllable parameters including level. In fact, the level of the two coupled tanks does not match the desired setpoint. The purpose of this research is to produce a pole placement-fuzzy Sugeno control design to overcome steady state error and slow response time in tank two in coupled tank. The method used is pole placement-fuzzy Sugeno control, based on the results of this study, it can be seen that this study succeeded in producing a pole placement-fuzzy Sugeno control which was able to overcome the problem of settling time and steady state error in a plant coupled tank in the tank, these two things can be seen from the value of $t_s = 54.04$ seconds and $e_{ss} = 0$ cm. In pole placement-fuzzy Sugeno control, it can accelerate the settling time and eliminate steady state errors.

Key Word *Coupled Tanks, Pole Placement, Fuzzy Sugeno*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji 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 Pengendalian Level Pada Coupled Tank Dengan Pole Placement-Fuzzy Sugeno”**.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengalaman, 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.

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

1. Ayah yaitu Imza Renaldi dan Ibu yaitu Asmaneli tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Abang yaitu OstoLaza Renaldi S.T, Abang yaitu Puji Hayadi dan Adik yaitu Fadli Muhammad yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Hairunnas, M.Ag, selaku rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
4. Bapak Dr. Drs. Hartono, B.A., M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
5. Ibu Dr. Zulfatri Aini S.T.,M.T, selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Sutoyo, S.T, M.T, selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.



7. Bapak Agus Firdaus Chandra, Lc., MA selaku Penasehat Akademik dari semester 1 sampai dengan semester 6 dan Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng selaku Penasehat Akademik dari semester 7 sampai saat ini yang telah banyak meluangkan waktu serta membimbing dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng selaku Ketua Sidang yang telah meluangkan waktu untuk melaksanakan sidang Tugas Akhir.
9. Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Bapak Ahmad Faizal, S.T, M.T selaku penguji I dan Bapak Aulia Ullah S.T., M.Eng selaku penguji II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan kritikan dan saran yang sangat membangunkan terhadap penulis.
11. Bapak Aulia Ullah, S.T M.Eng, selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan kritikan dan saran yang membangun semangat terhadap penulis.
12. Bapak dan ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Sahabat seperjuangan yaitu Dwiki Imannusa, Fadel Muhammad S.T, R. Reski Eka Putra S.T dan Muhammad Alan Subakti S.T yang telah memberikan dukungan, dorongan dan motivasi kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Sahabat yaitu Hidayatul Mardiah yang telah banyak memberikan dukungan dan mendengarkan keluh kesah penulis selama ini sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
15. Kelas D (Tenggen'D16), Instrumentasi 2016 serta teman-teman 2016 lainnya yang telah memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis yang lainnya yang tidak dapat penulis tulis satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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



Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan 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 dapat membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman dan pengetahuan penulis. Untuk ini penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 23 Desember 2021

Penulis,

Zana Azra

NIM.11655203581

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



DAFTAR ISI

© Hak Cipta dilindungi Undang-undang
 © Himpunan Matematika untuk Riset
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa menguraikan sumbernya.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN ii

LEMBAR PENGESAHAN iii

LEMBAR PERNYATAANiv

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL v

HALAMAN PERSEMBAHANvi

ABSTRAK vii

ABSTRACT viii

KATA PENGANTARix

DAFTAR ISI ii

DAFTAR GAMBAR v

DAFTAR TABEL vii

DAFTAR RUMUS viii

DAFTAR SINGKATANix

DAFTAR LAMBANG x

BAB I 1

PENDAHULUAN I-1

1. Latar Belakang I-1

2. Rumusan Masalah I-3

3. Tujuan Penelitian I-3

4. Batasan Masalah I-4

5. Manfaat Penelitian I-4

BAB II II-5

TINJAUAN PUSTAKA II-5

1. Penelitian Terkait II-5

2. Landasan Teori II-6

2.2.1 *Coupled Tank* II-6

2.2.2 Model Matematis II-9

2.3 *Pole Placement* II-12

2.4 *Fuzzy Logic* II-15

2.4.1 Himpunan *Fuzzy* II-16

2.4.2 *Fuzzyfikasi* II-17



2.4.3	Aturan <i>Fuzzy</i>	II-19
2.4.4	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	II-20
2.4.5	<i>Rules</i>	II-21
2.4.6	<i>Defuzzyfikasi</i>	II-22
	Karakteristik Orde Kedua	II-23
	Identifikasi Sistem	II-24
	MATLAB	II-25
	BAB III	III-1
	METODELOGI PENELITIAN	III-1
1	Proses Alur Penelitian	III-1
2	Tahapan Metodologi.....	III-2
3	Pemodelan <i>Coupled Tank</i>	III-3
4	Simulasi dan Verifikasi <i>Plant Coupled Tank</i>	III-5
5	Skenario Penelitian.....	III-6
6	Perancangan <i>Pole Placement</i>	III-7
7	Perancangan <i>Fuzzy Sugeno</i>	III-11
8	Data Penelitian Yang Akan Di Analisis.....	III-15
9	Perancangan Pengendali	III-15
9.1	Perancangan Kendali <i>Pole Placement</i>	III-15
9.2	Perancangan Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy Sugeno</i>	III-15
	BAB IV	IV-1
	ANALISA DAN HASIL	IV-1
1	Gambaran Umum Pengujian.....	IV-1
2	Analisa dan Hasil Sistem <i>Level Coupled Tank</i> Secara <i>Open Loop</i>	IV-1
3	Analisa dan Hasil kendali <i>Pole Placement</i> Dalam Mencapai <i>Setpoint</i> Pada <i>Coupled Tank</i>	IV-3
4	Analisa dan Hasil Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy Sugeno</i> Dalam Mencapai <i>Setpoint</i> Pada <i>Coupled Tank</i>	IV-5
4.5	Analisa dan Hasil Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy Sugeno</i> Dalam Mengatasi Perubahan <i>Setpoint</i> 5 cm.....	IV-7
4.6	Analisa dan Hasil Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy Sugeno</i> Dalam Mengatasi Perubahan <i>Setpoint</i> 5 cm dan kembali ke <i>Setpoint</i>	IV-8
	BAB V	V-1
	PENUTUP	V-1

HAK Cipta Dilindungi Undang-Undang.
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengizinkan 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.



5.1 Kesimpulan V-1

Saran..... V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

DAFTAR RIWAYAT

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

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





DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Coupled Tank[4].....	II-7
Gambar 2. 2 Sistem Servo Tipe 1[9].....	II-12
Gambar 2. 3 Tahap perancangan Fuzzy[15].....	II-16
Gambar 2. 4 Representasi Linear Naik[14].....	II-18
Gambar 2. 5 Representasi Linear Turun[14].....	II-18
Gambar 2. 6 Representasi Segitiga[14].....	II-19
Gambar 2. 7 Representasi Trapesium[14].....	II-19
Gambar 2. 8 Fungsi Keanggotan Variabel <i>Output</i> Fuzzy Sugeno.....	II-23
Gambar 2. 9 Blok Diagram Sistem Orde Kedua[17].....	II-23
Gambar 2. 10 Spesifikasi Respon <i>Transient</i>	II-24
Gambar 2. 11 Tampilan awal Matlab r2014a.....	II-25
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	III-1
Gambar 3. 2 Rangkaian <i>Open Loop Plant</i>	III-5
Gambar 3. 3 Respon Sistem <i>Plant</i> secara <i>Open Loop</i>	III-6
Gambar 3. 4 Fungsi Keanggotaan Kesalahan (e).....	III-12
Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan Derivatif (Derror).....	III-12
Gambar 3. 6 Fungsi Keanggotaan Sinyal Kontrol (u).....	III-13
Gambar 3. 7 Rangkaian Sistem Kendali <i>Pole Placement</i>	III-15
Gambar 3. 8 Rangkaian Sistem Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy</i> Sugeno.....	III-16
Gambar 4. 1 Rangkaian <i>Simulink Coupled Tank</i> Dengan <i>Open Loop</i>	IV-2
Gambar 4. 2 Respon Keluaran <i>Coupled Tank</i> Secara <i>Open Loop</i>	IV-2
Gambar 4. 3 Rangkaian <i>Coupled Tank</i> Dengan Menggunakan Kendali <i>Pole Placement</i>	IV-4
Gambar 4. 4 Respon Keluaran <i>Coupled Tank</i> Dengan Menggunakan Kendali <i>Pole Placement</i>	IV-4
Gambar 4. 5 Rangkaian <i>Coupled Tank</i> Dengan Menggunakan Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy</i> Sugeno.....	IV-5
Gambar 4. 6 Respon Keluaran <i>Coupled Tank</i> Dengan Menggunakan Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy</i> Sugeno.....	IV-6

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

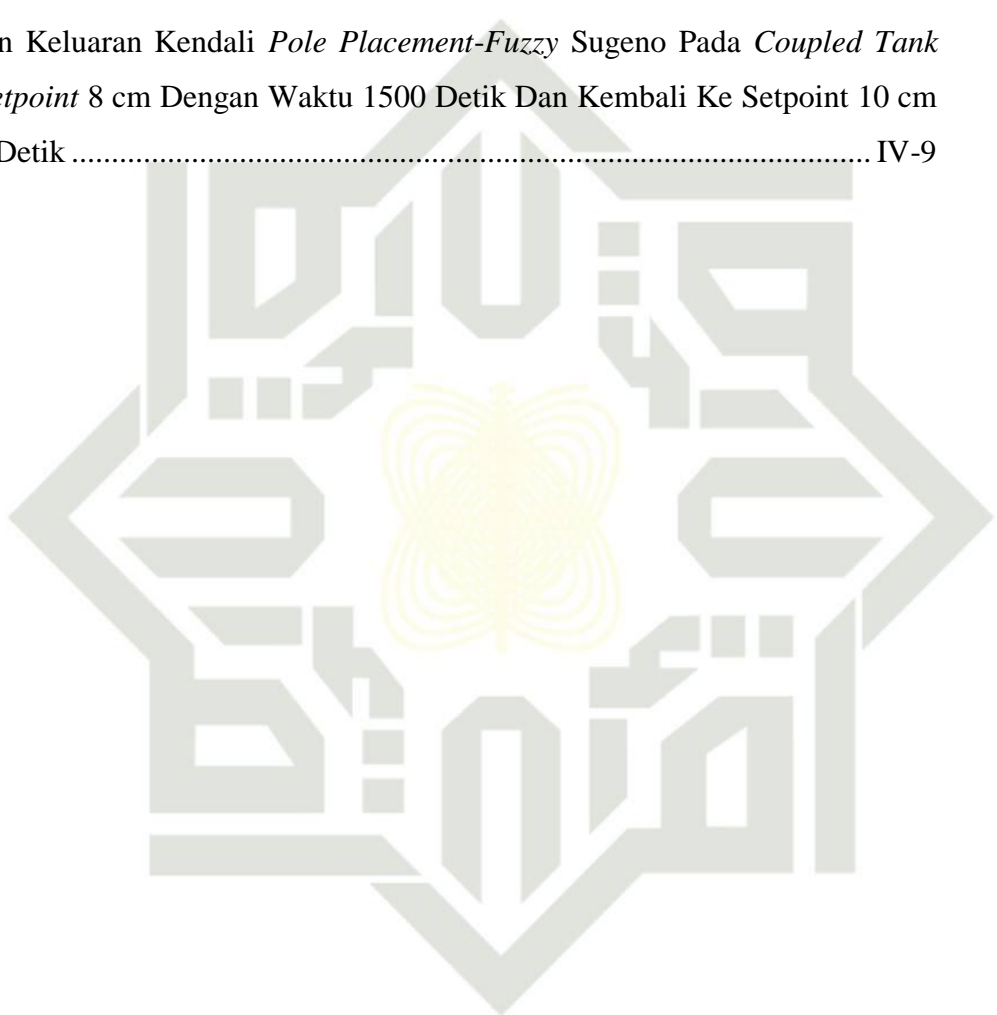


Gambar 4. 7 Rangkaian Kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno Coupled Tank* Dengan Perubahan *Setpoint* 8 cm Dan Waktu 1500 Detik IV-7

Gambar 4. 8 Respon Keluaran Kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno Coupled Tank* Dengan Perubahan *Setpoint* 8 cm Dan Waktu 1500 Detik IV-8

Gambar 4. 9 Rangkaian Kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno Coupled Tank* Dengan Perubahan *Setpoint* 8 cm Dengan Waktu 1500 Detik Dan Kembali Ke *Setpoint* 10 cm Dengan Waktu 3500 Detik..... IV-8

Gambar 4. 10 Respon Keluaran Kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno* Pada *Coupled Tank* Dengan Perubahan *Setpoint* 8 cm Dengan Waktu 1500 Detik Dan Kembali Ke *Setpoint* 10 cm Dengan Waktu 3500 Detik IV-9



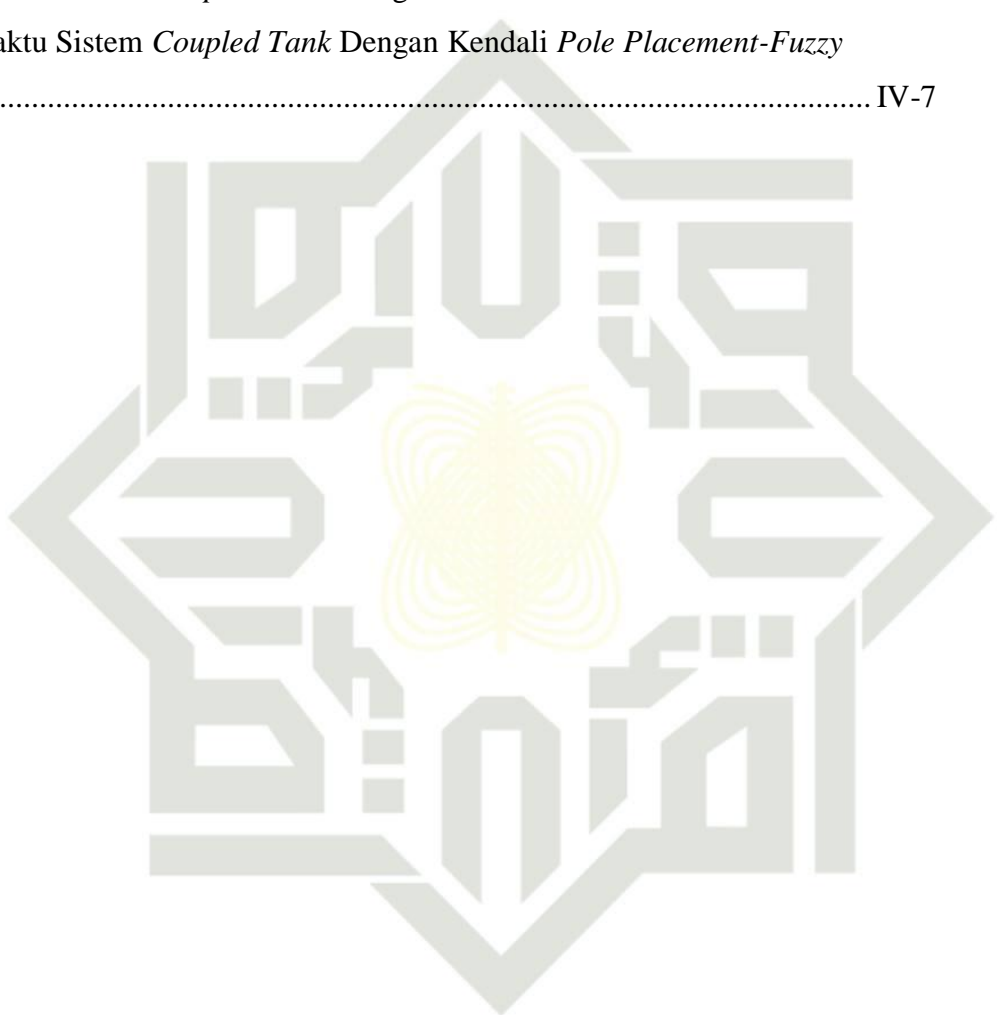
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu mass
 - b. Pengutipan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

DAFTAR TABEL

	Halaman
Table 3 Parameter <i>Coupled Tank</i> [4].....	III-3
Table 3.2 <i>Rule Base Fuzzy</i>	III-13
Table 4 Respon Waktu Sistem <i>Coupled Tank</i> secara <i>Open Loop</i>	IV-3
Table 4 Respon Waktu Sistem <i>Coupled Tank</i> Dengan Kendali <i>Pole Placement</i>	IV-5
Table 4 Respon Waktu Sistem <i>Coupled Tank</i> Dengan Kendali <i>Pole Placement-Fuzzy</i> Penno.....	IV-7

© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



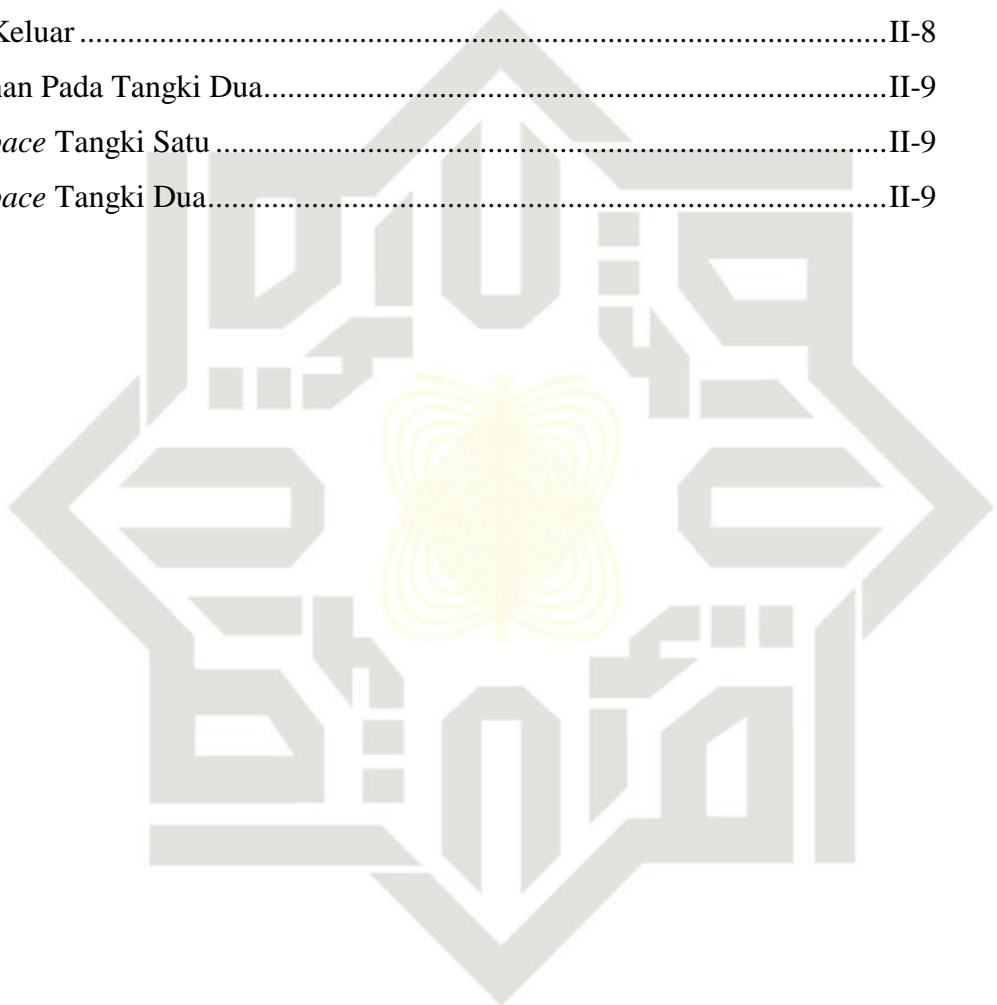
UIN SUSKA RIAU

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



DAFTAR RUMUS

	Halaman
1) Aliran Tangki Satu.....	II-7
2) Kecepatan Aliran Keluar	II-7
3) Laju Aliran Pada Tangki Satu	II-7
4) Turunan <i>Level</i> Tangki Satu.....	II-8
5) Aliran Masuk	II-8
6) Aliran Keluar	II-8
7) Perubahan Pada Tangki Dua.....	II-9
8) <i>State Space</i> Tangki Satu	II-9
9) <i>State Space</i> Tangki Dua.....	II-9



UIN SUSKA RIAU

Daftar Rumus

1. Dilarang mengutip atau sebagian atau seluruhnya tanpa izin UIN Suska Riau.

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

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

DAFTAR SINGKATAN

Direct Current
Single Input Single Output
Two Input Two Output
Fuzzy Inference Ssystem
Close Loop Transfer Function
Delay Time
Rise Time
Error Steady State
Maximum Overshoot
Settling Time
Matrix Library
Negatif Big
Negatif Small
Zero
Positif Small
Positif Big

© 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 masalah.

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

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



DAFTAR LAMBANG

- Aliran masukan tangki satu
- Pompa Konstan
- Tegangan yang diberikan ke pompa
- Gravitasi
- Tinggi permukaan air dalam tangki satu
- Aliran keluaran tangki satu
- Luas penampang tangki satu
- Diameter pada tangki satu
- Tangki satu
- Aliran keluaran tangki dua
- Luas penampang tangki dua
- Tinggi permukaan air dalam tangki dua
- Diameter pada tangki dua
- Tangki dua
- Sinyal kontrol
- Sinyal *output*
- Output integrator
- Sinyal referensi
- Matriks konstan
- Matriks konstan
- Matriks konstan
- Matriks kontrol
- Orde sistem
- Gain state feedback*
- Gain state feedback*
- Gain Kompensator*
- Gain Overall*
- Frekuensi Alami Tak Teredam
- Rasio Peredaman

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber: k_1 k_2 k_c K ω_n ζ
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berkembangnya zaman pada dunia teknologi membuat manusia bisa bekerja dengan efisien, sehingga banyak nya penemuan teknologi yang canggih di dunia industri, salah satunya adalah *coupled tank*. *Coupled tank* biasanya digunakan di *petro-chemical*, pembuatan kertas, dan industri pengolahan *fluida* yang melibatkan cairan, dimana cairan yang akan di pompa dan dialirkan dari satu tangki ke tangki yang lainnya untuk diolah[1]. Sehingga di dalam dunia industri yang melibatkan *fluida* maupun cairan sering melibatkan beberapa jenis tangki misalnya *single tank* yaitu tangki yang tidak terhubung dengan tangki yang lain dan *coupled tank* yaitu tangki yang tersusun yang terhubung dengan tangki yang lain[2]

Parameter yang umum biasanya dikendalikan pada *coupled tank* adalah *level*[3]. Dimana permasalahan yang dapat terjadi pada sistem *coupled tank* adalah pengendalian *level* pada tangki dua[4] yang mana air pada tangki satu turun ke tangki dua, sehingga untuk menjaga *level* pada tangki dua sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan maka dilakukan pengendalian. Pada pengujian *level* di tangki dua pada *coupled tank* secara *open loop* atau tanpa kendali didapatkan hasil respon masih terdapat *error steady state*. Maka itu diperlukan pengendalian pada *level coupled tank* agar sistem mencapai *setpoint* dan perubahan *setpoint*.

Adapun beberapa penelitian terkait yang telah banyak dilakukan mengenai pengendalian *level* pada *coupled tank* antara lain adalah penelitian *coupled tank* telah dilakukan dengan kendali RBF NN (*Radial Basis Function Neural Network*)[5] ini dimana dilakukan nya pengujian perubahan *setpoint* pada tangki dua dengan menggunakan *setpoint* 10 cm ke 8 cm dan diberikan pada waktu 225 detik. Dimana hasil penelian ini menunjukkan bahwa penggunaan RBF NN (*Radial Basis Function Neural Network*) dapat mengikuti perubahan *setpoint* yang diinginkan dimana menghasilkan hasil untuk *rise time* 48 detik, untuk *settling time* 52 detik dan mengikuti perubahan *setpoint* dalam 51 detik.

Penelitian *coupled tank* dengan menggunakan PI[6]. Dimana dilakukan nya pada pengujian tangki dua dengan menggunakan PI konvensional hasil dari penelitian ini menunjukkan *rise time* dengan 30,6 detik, *maximum overshoot* 0%, *settling time* 112 detik dan *error steady state* 0,31 cm. Sedangkan dengan menggunakan robust PI pada tangki dua *coupled tank* dimana hasil penelitian ini mengalami perubahan pada respon *transient* dengan



rise time 25,6 detik, maximum overshoot 0%, setting time 48 detik dan error steady state 0,02

Dari hasil simulasi yang didapat, kendali yang dirancang mengendalikan level pada *coupled tank* mampu memperbaiki respon sistem setelah diberikan kendali, namun masih terdapat *error steady state*, sehingga pengendalian level pada *coupled tank* belum maksimal.

Penelitian *pole placement* juga telah dilakukan pada motor DC[7] berdasarkan pada pengujian secara *close loop* mendapatkan hasil yang terbaik dari pengujian keseluruhan *close loop* dimana *pole* yaitu $[-10 + j10 \quad -10 \quad -10 \quad -j10]$ sehingga menghasilkan nilai *settling time* dengan nilai 0,4459 detik dan *rise time* 0,2558 detik. Pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem kendali dengan menggunakan *pole placement* dapat mempercepat *settling time*.

Penelitian *pole placement-fuzzy* juga telah dilakukan pada DC-DC buck converter[8] dimana pada pengujian *pole placement-fuzzy* mampu mengikuti nilai *setpoint* yang diberikan dengan 5 volt dan juga mampu mengikuti perubahan tegangan dimana hasil respon keluaran yaitu *settling time* 12 detik dan *maximum overshoot* 0%. Dari simulasi yang didapat, dimana kendali *pole placement-fuzzy* dapat mempercepat *settling time*.

Dari beberapa penelitian diatas dan hasil pengujian secara *open loop* pada tangki dua di *coupled tank* melebihi *setpoint* yang diinginkan[4]. Beberapa studi pustaka dalam kendali yang digunakan telah menunjukkan hasil yang baik, tetapi masih ada terdapat *error steady state* dan respon waktu yang lambat pada sistem. Oleh sebab itu, dipilih kendali *pole placement* merupakan salah satu sistem kontrol yang bisa digunakan untuk memindahkan akar-akar persamaan karakteristik agar sesuai dengan keinginan pendesain sistem. Akar-akar persamaan karakteristik sendiri berpengaruh pada respon sistem terhadap kemampuannya untuk mengikuti referensi[9]. Namun, berdasarkan hasil uji simulasi pra penelitian yang dilakukan dengan kendali *pole placement* pada tangki dua di *coupled tank* sudah dapat menghilangkan *error steady state* dan *settling time* yang cepat. Karena berdasarkan hasil uji pra simulasi, sistem mampu mengikuti model referensi yang sudah ditentukan, namun *settling time* masih bisa dipercepat. Oleh karena itu, pada penelitian kendali *pole placement* akan dikombinasikan dengan kendali *fuzzy*.

Kendali *fuzzy logic* yaitu metode sistem kendali cerdas yang menjadi salah satu pilihan dari penelitian yang telah banyak dilakukan, misalnya dalam dunia industri banyak diaplikasikan untuk mengendalikan berbagai proses industri. Kendali *fuzzy* ini menggunakan



logika *fuzzy* untuk mengendalikan dan memberi perintah. *Fuzzy logic* merupakan salah satu logika yang menggunakan cara berpikir manusia dan bahasa alami manusia. Keunggulan dari *fuzzy* adalah tidak memerlukan perhitungan matematika yang rumit[10]. Kendali *fuzzy* berfungsi untuk mengatasi kekurangan kendali *pole placement* yang terdapat pada *settling time* pada sistem, seperti yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

Kendali *fuzzy logic* memiliki beberapa metode yang sering digunakan yaitu metode sugeno dan mamdani. Pada penelitian ini akan menggunakan metode sugeno karena metode sugeno memiliki waktu perhitungan yang singkat dan penalaran nya mampu mencakup *point* pada yang luas[11] adapun beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan metode sugeno diantara nya adalah yang mana penalaran *fuzzy* metode sugeno dapat mencapai 6,92% dimana telah dilakukan pada penelitian untuk jumlah produksi roti berdasarkan data persediaan dan jumlah permintaan yang ada[12] kemudian pengendali *fuzzy* juga dibuktikan pada penelitian komparasi kendali motor DC dengan menggunakan *fuzzy logic* metode mamdani dan sugeno. Dimana dalam penelitian ini menunjukkan bahwa dengan kendali *fuzzy* bisa mendapatkan respon yang cepat untuk memperoleh hasil *output* yang diinginkan. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa metode sugeno dapat mencapai *steady state* dengan cepat[13]

Berdasarkan hasil dari *literature riview* maka penulis tertarik melakukan penelitian sistem pengendali *pole placement-fuzzy* sugeno, adapun sebuah *plant* yang dikendalikan yaitu *coupled tank* untuk mengendalikan *level* di tangki dua pada *coupled tank*. Oleh karena itu penulis tertarik untuk mengajukan judul tugas akhir yaitu “**Desain Pengendalian Level Pada Coupled Tank Dengan Pole Placement-Fuzzy Sugeno**”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan yang dari penelitian ini adalah bagaimana mengatasi permasalahan *error steady state* dan respon waktu yang lambat pada sistem *coupled tank* ditangki dua dengan menggunakan metode *pole placement-fuzzy* sugeno ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dilakukan penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan rancangan kendali menggunakan *pole placement-fuzzy* sugeno untuk mengatasi *error steady state* dan respon waktu yang lambat pada *plant coupled tank* ditangki dua.



2. Menghasilkan kendali yang mampu mengatasi permasalahan *error steady state* dan respon waktu yang lambat pada *coupled tank* ditangki dua.

Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan yang diharapkan penulis ini adalah sebagai berikut :

Penelitian model sistem *coupled tank* yang digunakan merujuk pada jurnal yang berjudul *Comparative Study of Mamdani-type and Sugeno-type Fuzzy Inference Systems for Coupled Water Tank*[4] karena dalam jurnal ini telah memberikan persamaan *coupled tank* secara keseluruhan dan asal persamaannya.

Variabel yang akan dikendalikan yaitu *level* tangki dua pada sistem *coupled tank*.

Tidak melakukan pengujian terhadap *hardware* pada *coupled tank*.

Metode *fuzzy logic* yang akan digunakan yaitu metode *fuzzy sugeno*, perancangan pengendalian *fuzzy* menggunakan *rule base* 5x5, dengan fungsi segitiga dan metode defuzzifikasi yang digunakan *weight average* (WA).

Perubahan *setpoint* dilakukan pada *level* 8 cm.

Perubahan *setpoint* dilakukan pada *level* 8 cm dan kembali ke *setpoint* 10 cm.

Plant yang dibuat berupa simulasi menggunakan *software* MATLAB r2014a.

5.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penulis ini adalah sebagai berikut :

Menghasilkan rancangan sistem kendali menggunakan *pole placement-fuzzy sugeno* untuk mengendalikan *level* pada tangki dua di sistem *coupled tank*.

Dapat menjadikan referensi lanjutan dalam pengaplikasian *coupled tank* sebagai sistem kendali pada proses industri.

Dapat dijadikan sebagai referensi selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan sebuah pencarian teori serta referensi yang telah relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan. Teori dan referensi yang telah didapatkan melalui jurnal, *paper*, buku, *e-book* dan sumber lainnya.

Penelitian *coupled tank* juga telah dilakukan dengan menggunakan *Radial Basis Function Neural Network* (RBF NN)[5] hasil pengujian perubahan *setpoint* tangki dua pada *coupled tank* dengan menggunakan *setpoint* 10 cm ke 8 cm dengan diberikan pada waktu 225 detik. Hasil pengujian *Radial Basis Function Neural Network* (RBF NN) pada tangki dua di *coupled tank* mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan dengan *error steady state* 0 cm, untuk *maximum overshoot* 0%, untuk *rise time* 48 detik dan untuk *settling time* dapat mengikuti perubahan *setpoint* dalam 51 detik. Pada penelitian ini ditarik kesimpulan, bahwa kendali ini mampu mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan pada *coupled tank*, dengan melakukan *reset plant* yang sama dengan metode kendali berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari penelitian ini.

Penelitian *coupled tank* dengan menggunakan PI dimana dilakukan nya pada pengujian tangki dua dengan menggunakan PI konvensional hasil dari penelitian ini menunjukkan *rise time* dengan 30,6 detik, *maximum overshoot* 0%, *settling time* 112 detik dan *error steady state* 0,31 cm. Sedangkan dengan menggunakan robust PI dimana hasil penelitian ini mengalami perubahan pada respon *transient* dengan *rise time* 25,6 detik, *maximum overshoot* 0%, *setting time* 48 detik dan *error steady state* 0,02 cm[6] dari hasil simulasi menggunakan PI sudah terlihat baik sedangkan dengan robust PI mengalami perubahan *transient* pada *error steady state*, namun pada robust PI masih terdapat *error steady state* sebesar 0,02 cm. Sehingga penelitian ini masih memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan penulis lakukan, yaitu masih terdapat *error steady state* pada kendali ini dan kendali yang penulis sarankan bisa menghilangkan masalah pada *error steady state*.

Penelitian kendali *pole placement* juga telah dilakukan dengan merancang pengendali *state feedback* untuk mengatur posisi motor DC dan memperoleh parameter nilai *close loop pole* yang terbaik. Simulasi motor DC menggunakan *pole placement* menghasilkan hasil



pengujian terhadap berbagai nilai *close loop pole* dimana saat *close loop pole* $[-10 + j10 - 10 - j10]$ dari hasil respon sistem tidak memiliki *overshoot*, *settling time* 0,4459 detik *rise time* 0,2558 detik[7]. Pada kendali *pole placement* menghasilkan keluaran *settling time* yang bagus yang mana memiliki waktu yang cepat. Pada penelitian ini, bahwa kendali mampu menghasilkan *settling time* yang cepat, dengan melakukan *reset plant* yang berbeda dengan metode kendali yang sama untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari penelitian ini. Penelitian *pole placement-fuzzy* juga telah dilakukan pada DC-DC *buck converter* dimana pada pengujian *pole placement-fuzzy* mampu mengikuti nilai *setpoint* yang diberikan dengan 20% *overshoot* dan juga mampu mengikuti perubahan tegangan dimana hasil respon keluaran yaitu *settling time* 12 detik dan *maximum overshoot* 0%[8]. Dimana pada penelitian ini memiliki keluaran *settling time* yang baik dimana memiliki waktu yang cepat. Sehingga dengan melakukan *reset plant* yang berbeda dengan metode kendali yang sama untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari penelitian ini.

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 melakukan 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* sugeno untuk mengendalikan *level*.

2.2 Landasan Teori

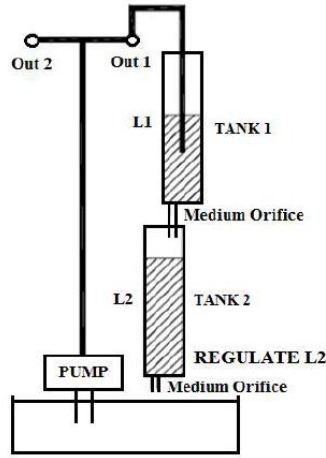
Pada sub bab dasar teori ini akan membahas tentang sistem dari *coupled tank* dan model matematis sistem *coupled tank*.

2.2.1 Coupled Tank

Coupled tank merupakan tangki yang tersusun dari 2 buah tangki *vertikal* yang saling terhubung dengan pipa aliran. Dari hal ini menyebabkan *level* pada kedua tangki yang saling berinteraksi. Pada masing-masing tangki mempunyai pompa untuk memasukkan aliran air, jika dari salah satu tangki mengalami *disturbance* maka akan mengalami perubahan *level* antara kedua tangki. Agar dapat dikendalikan, *coupled tank* dapat dikonfigurasi sebagai



sebuah sistem SISO (*Single Input Single Output*) atau TITO (*Two Input Two Output*) dengan manipulasi pompa *input* dan daerah *valve*[14].



Gambar 2. 1 *Coupled Tank*[4]

Berdasarkan pada gambar 2.1 maka persamaan aliran tangki satu pada *coupled tank* sebagai berikut[4] :

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

Dimana :

- F_{1in} = Aliran masukan tangki satu
- K_m = Pompa Konstan ($cm^3/detik$)/volt
- V_p = Tegangan yang diberikan ke pompa (volt)

Berdasarkan hukum *Bernoulli*, kecepatan aliran keluaran didapatkan sebagai berikut[4] :

$$V_o = \sqrt{2g L_1} cm/detik \tag{2.2}$$

Dimana

- g = Gravitasi ($cm/detik^2$)
- L_1 = Tinggi permukaan air dalam tangki satu (cm)

Dari nilai persamaan (2.1) dan persamaan (2.2) maka diperoleh persamaan laju aliran tangki satu sebagai berikut[4] :

$$F_{1in} - F_{out} = K_m V_p - \alpha_1 \sqrt{2g L_1} cm^3/detik \tag{2.3}$$

Dimana

- F_{1in} Aliran masukan tangki satu

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.



F_{1out}

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

- = Aliran keluaran tangki satu
- Pompa konstan ($cm^3/detik$)/volt
- Tegangan yang diberikan ke pompa (volt)
- Luas penampang tangki satu (cm)
- Gravitasi ($cm/detik^2$)
- Tinggi permukaan air dalam tangki satu (cm)

Kemudian turunan pada *level* tangki satu, dimana A_1 adalah diameter tangki satu sebagai

berikut [4]:

$$= -\sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} L_1 + \frac{K_m}{A_1} V_p \tag{2.4}$$

Dimana

- A_1 = Luas penampang tangki satu (cm)
- A_1 = Diameter pada tangki satu (cm^2)
- g = Gravitasi ($cm/detik^2$)
- L_{10} = Tangki satu (cm)
- L_1 = Tinggi permukaan air dalam tangki satu (cm)
- K_m = Pompa konstan ($cm^3/detik$)/volt
- V_p = Tegangan yang diberikan ke pompa (volt)

Maka persamaan pada tangki dua untuk arus masuk dan arus keluar adalah sebagai

berikut [4]:

$$F_{1in} = \alpha_1 \sqrt{2g L_1} cm^3/detik \tag{2.5}$$

$$F_{2out} = \alpha_2 \sqrt{2g L_2} cm^3/detik \tag{2.6}$$

Dimana

- F_{1in} Aliran masukan tangki satu
- α_1 Luas penampang tangki satu (cm)
- g 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)

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

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.

1. Dilarang mengutip atau seluruhnya atau sebagian tanpa menyebutkan sumber.



L_2 = Tinggi permukaan air dalam tangki dua (cm)

1. Dan turunan *level* pada tangki dua kemudian dapat dilihat sebagai berikut[4] :

$$\dot{L}_2 = -\sqrt{\frac{g}{2L_{20}}} L_2 + \frac{\alpha_1}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} L_1 \tag{2.7}$$

- Dimana
- x_2 = Luas penampang tangki dua (cm)
- A_2 = Diameter pada tangki dua (cm²)
- g = Gravitasi (cm/detik²)
- L_{20} = Tangki dua (cm)
- x_1 = Luas penampang tangki satu

Jika $x_1 = L_1$ dan $x_2 = L_2$ maka persamaan *state* dari sistem dapat dituliskan sebagai berikut[4] :

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

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

- Dimana :
- x_1 = Luas penampang tangki satu (cm)
- A_1 = Diameter pada tangki satu (cm²)
- g = Gravitasi (cm/detik²)
- L_{10} = Tangki satu (cm)
- K_m = Pompa konstan (cm³/detik)/volt
- V_p = Tegangan yang diberikan ke pompa (volt)
- x_2 = Luas penampang tangki dua (cm)
- A_2 = Diameter pada tangki dua (cm²)
- L_{20} = Tangki dua (cm)

2.2.2 Model Matematis

Model pada *plant* yaitu model nonlinear sehingga terlebih dahulu di linearisasi pada titik equilibriumnya untuk mendapatkan sebuah matrik *state space* dari *plant*. Model *plant* dari

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

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

© Haki Cipta dilindungi Undang-Undang. UIN Suska Riau. Site: islamiy.unsuka.ac.id. Sultan Syarif Kasim



coupled tank ini terdiri dari dua buah *state* yaitu x_1 dan x_2 . Linearisasi dilakukan pada titik $x_1 = 15$ cm dan $x_2 = 15$ cm.

Berikut adalah persamaan *state* dari hasil linearisasi :

$$\begin{bmatrix} 15 \\ 0 \end{bmatrix}^T \tag{2.10}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 15 \end{bmatrix}^T \tag{2.11}$$

Dimana persamaan 2.10 dan persamaan 2.11 merupakan maksimal *level* dari *coupled tank*.

Sistem nonlinear dapat didekati dengan menjadi sebuah sistem linear berdasarkan hasil linearisasi didalam sekitar titik kerjanya, dengan menggunakan matrik A sebagai *matrix Jacobi* dari $f(x)$, sehingga dapat direpresentasi dalam persamaan dibawah berikut :

$$\dot{x} = f(x) + h(x, u) \tag{2.12}$$

Dari model matematika *coupled tank* maka diperoleh sebagai berikut[4] :

$$\dot{x}_1 = -\frac{\alpha_1}{A_1} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} x_1 + \frac{K_m}{A_1} V_p \tag{2.13}$$

$$\dot{x}_2 = +\frac{\alpha_1}{A_2} \sqrt{\frac{\alpha_2}{2L_{20}}} x_1 - \frac{\alpha_2}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} x_2 \tag{2.14}$$

Kemudian model matematika *coupled tank* pada persamaan 2.12 sampai dengan persamaan 2.14 diuraikan menjadi sebagai berikut :

$$f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

Dimana $f_1(x) = \dot{x}_1$ dan $f_2(x) = \dot{x}_2$, setelah itu dimana ada x diturunkan sebagai berikut :

$$f(x) = \begin{bmatrix} -\frac{\alpha_1}{A_1} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} x_1 & 0 \\ \frac{\alpha_1}{A_2} \sqrt{\frac{\alpha_2}{2L_{20}}} x_1 & -\frac{\alpha_2}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} x_2 \end{bmatrix} \tag{2.16}$$

Dan :

$$h(x, u) = \begin{bmatrix} h_1(x, u) \\ h_2(x, u) \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

$$h(x, u) = \begin{bmatrix} \frac{K_m}{A_1} V_p \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2.18}$$

Dimana

$$x = [x_1 \ x_2]^T \tag{2.19}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Jumlah pada *state* dalam sistem adalah n , maka linearisasi pada titik kerja $(x_1, x_2 \dots x_n)$

dapatlah sebagai berikut :

$$Ax = Bu \tag{2.20}$$

$$Cx \tag{2.21}$$

Dengan persamaan 2.19 sampai dengan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$[x_1 \dots x_n]^T \tag{2.22}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x} & \dots & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n(x)}{\partial x} & \dots & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x=x^*} \text{ dan } B = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1(x,u)}{\partial u} \\ \vdots \\ \frac{\partial h_n(x,u)}{\partial u} \end{bmatrix}_{\substack{x=x^* \\ u=u^*}} \tag{2.23}$$

Karena hanya ada dua *state* x_1 dan x_2 maka seperti sebagai berikut :

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} \end{bmatrix} \tag{2.24}$$

Dan :

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1(x,u)}{\partial u} \\ \frac{\partial h_1(x,u)}{\partial u} \end{bmatrix} \tag{2.25}$$

Dari persamaan 2.16 maka dimasukkan persamaan 2.24 menjadi sebagai berikut :

$$= \begin{bmatrix} -\frac{\alpha_1}{A_1} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} x_1 & 0 \\ \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} \\ +\frac{\alpha_1}{A_1} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} x_1 & -\frac{\alpha_2}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2L_{20}}} x_2 \\ \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} \end{bmatrix} \tag{2.26}$$

Dari persamaan 2.18 dan persamaan 2.25 dimana $(V_p = u)$ maka sebagai berikut :

$$B = \begin{bmatrix} \frac{K_p}{A} V_p \\ \frac{\partial}{\partial u} \end{bmatrix} \tag{2.27}$$

Maka dari persamaan 2.26 dan persamaan 2.27 diuraikan menjadi seperti sebagai berikut :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{\alpha_1}{A_1} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} & 0 \\ +\frac{\alpha_1}{A_1} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} & -\frac{\alpha_2}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2L_{20}}} \end{bmatrix} \tag{2.28}$$

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sunan Syarif Kasirin



$$\begin{bmatrix} K_m \\ A_0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(2.29)

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

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

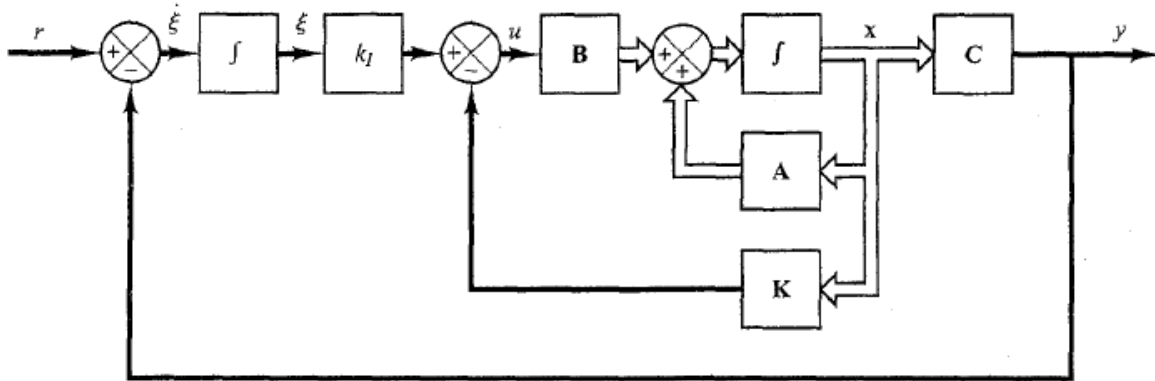
(2.30)

$$[c_1 \quad c_2]$$

(2.31)

Pole Placement

Pole placement yaitu salah satu metode kontrol yang digunakan untuk menempatkan *pole* persamaan karakteristik hingga sesuai dengan yang diinginkan. Agar *pole* persamaan karakteristik bisa ditempatkan sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukanlah dengan memilih *gain* yang tepat terlebih dahulu sehingga sistem harus dipastikan terkontrol (*Controllable*)[9]. Pada gambar 2.2 merupakan pendekatan *pole placement* untuk desain sistem servo tipe 1 (*Plant Has No Integrator*), seperti dibawah ini:



Gambar 2. 2 Sistem Servo Tipe 1[9]

Dengan *plant* persamaan *state space* :

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{2.32}$$

$$y = Cx \tag{2.33}$$

$$u = -Kx + k_i \xi \tag{2.34}$$

$$\xi = r - y = r - Cx \tag{2.35}$$

Dimana

$$u = \text{Signal kontrol}$$

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



- y = Sinyal output
- 1. = Output integrator
- 2. = Sinyal referensi
- 3. = Matriks konstan
- 4. = Matriks konstan
- 5. = Matriks konstan

Dengan mempertimbangkan ξ yaitu sebagai salah satu *statenya*, maka :

$$\dot{\begin{bmatrix} x \\ \xi \end{bmatrix}} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \xi \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r \tag{2.36}$$

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 2.36 menjadi :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(\infty) \\ \dot{\xi}(\infty) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(\infty) \\ \xi(\infty) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u(\infty) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r(\infty) \tag{2.37}$$

Karena $r(t)$ adalah sinyal step maka $r(\infty) = r(t) = r$ yang bernilai konstan. Mengurangi persamaan 2.36 dengan persamaan 2.37 maka akan didapatkan :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) - \dot{x}(\infty) \\ \dot{\xi}(t) - \dot{\xi}(\infty) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) - x(\infty) \\ \xi(t) - \xi(\infty) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u(t) - u(\infty) \tag{2.38}$$

Anggaplah bahwa :

$$x(t) - x(\infty) = x_e(t) \tag{2.39}$$

$$\xi(t) - \xi(\infty) = \xi_e(t) \tag{2.40}$$

$$u(t) - u(\infty) = \xi_e(t) \tag{2.41}$$

Maka persamaan 2.38 dapat ditulis kembali menjadi :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_e(t) \\ \dot{\xi}_e(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e(t) \\ \xi_e(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u_e(t) \tag{2.42}$$

Dimana

$$u_e(t) = \xi_e(t) - kx_e(t) \tag{2.43}$$

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

$$e(t) = \begin{bmatrix} x_e(t) \\ \xi_e(t) \end{bmatrix} \tag{2.44}$$

Persamaan 2.42 menjadi :

$$\dot{e} = \hat{A}e + \hat{B}u_e \tag{2.45}$$



Dimana :

$$\begin{bmatrix} A & 0 \\ -I & 0 \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

$$\begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

Persamaan 2.43 menjadi :

$$-sI - Ke \quad (2.48)$$

$$[k \quad \dots \quad k_1] \quad (2.49)$$

Selanjutnya melakukan pemeriksaan dengan matriks P sebagai berikut :

$$P = \begin{bmatrix} A & B \\ -I & 0 \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

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

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

$$M = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B] \quad (2.51)$$

Dimana :

M = Matriks kekontrolan

n = Orde sistem

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

Bentuk polinomial karakteristik untuk A :

$$|sI - A| = s^n + a_1s^{n-1} + a_2s^{n-2} + \dots + a_{n-1}s + a_n \quad (2.52)$$

$$\text{Tentukan nilai } a_1, a_2, \dots, a_n \quad (2.53)$$

Tentukan maktriks tranformasi T :

$$T = MV \quad (2.54)$$

Dimana

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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



$$\hat{M} = [\hat{B} : \hat{A}\hat{B} : \hat{A}^2\hat{B}] \tag{2.55}$$

$$N = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_1 & 1 \\ \alpha_2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2.56}$$

Kemudian dengan polynomial karakteristik :

$$(s - \mu_1)(s - \mu_2) \cdots (s - \mu_n) = s^n + \alpha_1 s^{n-1} + \alpha_2 s^{n-2} + \cdots + \alpha_{n-1} s + \alpha_n \tag{2.57}$$

Dan tentukan nilai $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ (2.58)

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

$$K = [(\alpha_n - a_n)(\alpha_{n-1} - a_{n-1}) : \cdots : (\alpha_1 - a_1)] T^{-1} \tag{2.59}$$

Sehingga *state feedback gain* matriks K :

$$K = [k_1 \quad k_2 \quad k_c] \tag{2.60}$$

- Keterangan :
- k_1 = Gain *state feedback*
 - k_2 = Gain *state feedback*
 - k_c = Gain Kompensator

4 Fuzzy Logic

Logika atau bisa juga disebut sebagai dasar pemikiran. Logika *classic* pada dasarnya berhubungan dengan proposisi yang memiliki dua kemungkinan yaitu 1 atau bisa berlogika benar atau 0 bisa berlogika salah. Proposisi merupakan kalimat yang bisa dikatakan dalam suatu bahasa dan bisa diexpresikan[15]. *Fuzzy Logic* adalah suatu pemikiran yang kabur atau samar. Istilah dari *fuzzy* dapat digunakan untuk membedakan dari satu himpunan ke himpunan yang lainnya berdasarkan derajat keanggotan dengan batasan yang tidak terlalu jelas. Sistem *fuzzy* yaitu suatu sistem yang menggunakan bentuk nilai *fuzzy* dan logika *fuzzy* dalam pengaplikasiannya. Didalam proses membangun sistem *fuzzy* maka sistem *fuzzy* mempunyai bagian-bagian seperti *fuzzyfikasi*, mesin *interface*, *rule base fuzzy* dan *defuzzyfikasi*.

UIN SUSKA RIAU

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

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

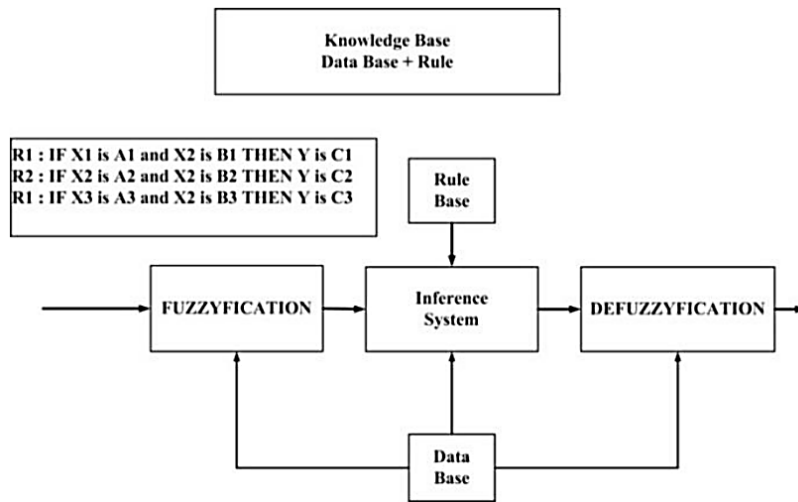
Universitas Islam UIN University of Sultan Syarif Kasir

HaScipta Diindungi Undang-Undang

Kertas Berlogo atau Logo Resmi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2. 3 Tahap perancangan Fuzzy[16]

4.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* yaitu sebuah himpunan yang menyatakan keadaan maupun kondisi didalam sebuah sistem *fuzzy*, himpunan *fuzzy* dibuat berdasarkan dari pernyataan yang digunakan untuk memperluas jangkauan fungsi dari karakteristik yang telah ditentukan sampai fungsi tersebut menyangkut pada bilangan *real* dengan *range* (0,1). Didalam himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan selalu berada di 0 maupun 1 tetapi terdapat juga nilai yang berada antara nilai 0 dan 1. Pada himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut, yaitu sebagai berikut :

a. Linguistik

Adalah suatu penamaan group yang mewakili suatu keadaan maupun kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, misalnya MUDA, PAROBAYA, TUA.

b. Numeris

Adalah sebuah nilai (angka) yang menunjukkan sebuah ukuran dari suatu variabel, misalnya 40, 25, 50 dan lain sebagainya.

Adapun beberapa hal yang harus diketahui dalam memahami suatu sistem *fuzzy*, yaitu sebagai berikut :

1. Variabel *Fuzzy*

Adalah variabel yang akan dibahas didalam sistem *fuzzy* misalnya temperatur, tegangan dan kecepatan.

2. Himpunan *Fuzzy*



Adalah sebuah himpunan yang akan menyatakan keadaan maupun kondisi didalam sistem

Semesta Pembicaraan

Adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan didalam *fuzzy* dengan menggunakan kata semesta pembicaraan dengan himpunan bilangan *real* yang dengan mudah naik (bertambah) dengan secara monoton dari kiri ke kanan. Sehingga nilai semesta pembicaraan didapat dengan nilai positif ataupun negatif.

Domain

Adalah keseluruhan dari nilai yang diperbolehkan dalam semesta pembicaraan dan boleh juga dioperasikan didalam himpunan *fuzzy*[15]. Sama halnya dengan semesta pembicaraan dan domain bisa juga bernilai positif ataupun negatif.

Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Adalah dimana kurva yang menampilkan pemetaan pada sebuah titik-titik input yang telah ditentukan ke nilai keanggotaan dimana telah ditentukan *rangennya*[15]. Salah satu fungsi keanggotaan bisa seperti segitiga, trapesium dan lain sebagainya.

2.4.2 Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan sebuah proses yang mengubah suatu input dari bentuk tegas (*chip*) menjadi *fuzzy* (variabel linguistik) yang biasanya ditampilkan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. *Fuzzyfikasi* yaitu sebuah pemetaan dari ruang *input* ke himpunana *fuzzy* yang telah didefinisikan oleh semesta pembicaraan variabel *input*[15]. Berikut ini merupakan himpunan *fuzzy* yang sering digunakan pada sebuah proses *fuzzyfikasi* sebagai berikut :

1. Representasi Linear Naik

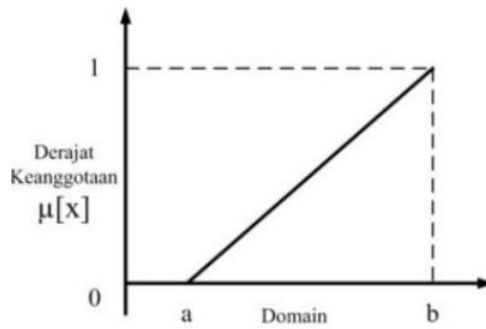
Himpunan ini dimana kenaikan pada himpunan *fuzzy* dimulai dari nilai domain pada derajat keanggotaan terendah atau nilai 0 bergerak naik ke kanan sampai ke nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi[15].

$$u_f(x) = \begin{cases} 0; x \leq a \\ \frac{(x-a)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1; x \geq b \end{cases} \quad (2.61)$$

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

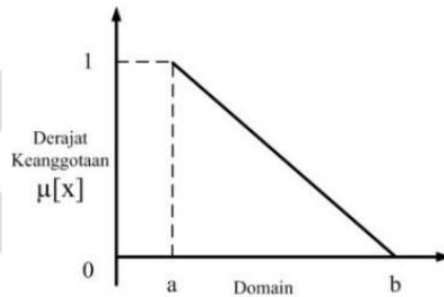


3
Gambar 2. 4 Representasi Linear Naik[15]

Representasi Linear Turun

Himpunan ini dimulai dari nilai domain pada derajat keanggotaan yang tinggi dari kiri turun secara garis lurus menurun ke nilai domain derajat keanggotaan yang lebih rendah[15].

$$u_f(x) = \begin{cases} \frac{(b-x)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1; x \geq b \end{cases} \quad (2.62)$$

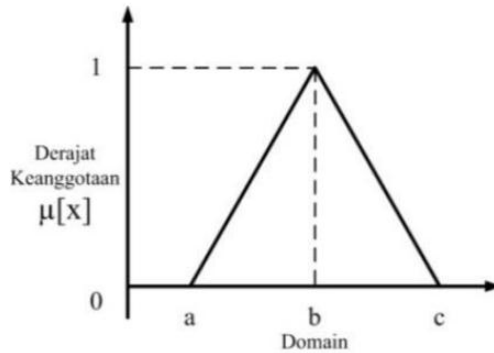


Gambar 2. 5 Representasi Linear Turun[15]

Representasi Segitiga

Adalah sebuah penggabungan dua garis linear, dimana kurva dari segitiga dapat dirumuskan pada persamaan sebagai berikut[15]:

$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } x > c \end{cases} \quad (2.63)$$

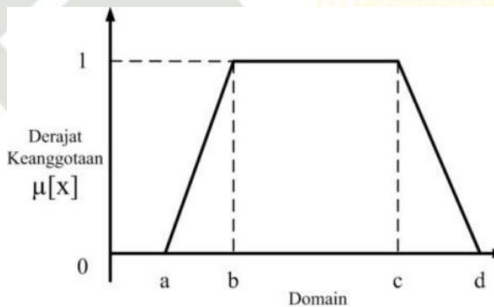


Gambar 2. 6 Representasi Segitiga[15]

Representasi Trapesium

Adalah hampir menyerupai dengan sebuah kurva segitiga tetapi yang menjadi perbedaannya ada beberapa titik nilai keanggotannya 1[15].

$$\mu_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ 1, & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{for } x > d \end{cases} \quad (2.64)$$



Gambar 2. 7 Representasi Trapesium[15]

4.4.3 Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy dinyatakan dalam kumpulan IF-THEN yang dimana anteseden dan konsekuennya berupa sebuah variabel linguistik. Kumpulan dari aturan fuzzy tersebut dapat merelasi *input-output* dari sebuah sistem. Ada 4 metode yang bisa mendapat *rule base* dari sistem fuzzy sebagai berikut :

1. Berdasarkan dari sebuah pengalaman para pakar dan sebuah pengetahuan kendali dari *engineer*, yaitu maksudnya berdasarkan pengoperasian manual dan metode kusioner.

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



2. Berdasarkan dari sebuah aksi operator kendali, yaitu metode dilakukannya berdasarkan pengamatan manusia dalam sebuah pengendalian untuk menentukan *input* dan *output*.
 1. Berdasarkan sebuah model *fuzzy* dari sistem, yaitu maksudnya gambaran dari linguistik karakter yang dinamis dari suatu proses.
 - a. Berdasarkan dari sebuah pembelajaran, yaitu metode ini merujuk pada sebuah kemampuan untuk memodifikasi aturan *fuzzy* misalnya *self-organizing*.

4 Sistem Inferensi Fuzzy

Dalam membangun sebuah sistem *fuzzy* dapat diketahui dengan beberapa metode penalaran yaitu metode Tsukamoto, metode Mamdani dan metode Sugeno :

1. Metode Mamdani (Max-Min)

Metode Mamdani biasa juga dikenal dengan nama metode Max-Min, dimana metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975[17]. Metode ini merupakan metode yang bisa juga dikatakan paling sederhana dan paling sering digunakan dalam penelitian dibandingkan metode yang lainnya. *Input* dan *output* dalam metode mamdani ini merupakan himpunan *fuzzy*. Pada proses *fuzzyfikasi* pada tahap awal adalah menentukan variabel *fuzzy* dan himpunan *fuzzy*. Selanjutnya tentukan berapa derajat kesepadanan (*degree of match*) antara data sistem dari setiap aturan *fuzzy* tersebut.

2. Metode Sugeno

Metode Sugeno diperkenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985[17]. Metode Sugeno ini hampir sama dengan penalaran metode mamdani, namun *output* sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, tetapi yaitu dalam bentuk konstanta atau persamaan linear. Michio Sugeno mengusulkan penggunaan singleton sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuen. Singleton ini merupakan sebuah himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan dimana pada titik tertentu mempunyai sebuah nilai dan 0 diluar titik tersebut. Ada 2 model pada *fuzzy* metode Sugeno ini yaitu sebagai berikut :

a. Model Fuzzy Orde-Nol

Secara umum bentuk dari model *fuzzy* metode sugeno orde nol adalah sebagai berikut :

$$IF (x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ \dots \circ (x_N \text{ is } A_N) THEN z = k \quad (2.65)$$

Dimana A_1 yaitu himpunan *fuzzy* ke-I sebagai antesden dan k yaitu suatu konstanta (tegas) sebagai sebuah konsekuen.

b. Metode Fuzzy Sugeno Orde-Satu



Pada secara umum bentuk dari model *fuzzy* sugeno orde satu adalah sebagai berikut :

$$IF (x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ \dots \circ (x_N \text{ is } A_N) THEN z = p_1 * x_1 + \dots + p_N * x_N + q \quad (2.66)$$

Dimana A_1 yaitu himpunan *fuzzy* ke-I sebagai anteseden, p_1 yaitu suatu konstanta (tegas) dan q yaitu juga merupakan sebuah konstanta pada konsekuen. Berdasarkan dari *fuzzy* tersebut, maka ada tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam implemetasi metode sugeno sebagai berikut :

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pada tahap ini variabel input dari sistem *fuzzy* ditransfer kedalam himpunan *fuzzy* untuk dapat setiap aturan dalam basis pengetahuan. Dengan demikian pada tahap ini mengambil nilai-nilai tegas dan menentukan derajat dimana nilai-nilai tersebut akan menjadi anggota dari setiap himpunan *fuzzy* yang sesuai.

a. Aplikasi Fungsi Aplikasi

Pada tiap-tiap aturan basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*.

Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi aplikasi adalah sebagai berikut : IF x THEN y is B dengan x dan y adalah saklar, dimana A dan B adalah himpunan *fuzzy*.

Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut konsekuen. Pada proposisi ini dapat diperluas dengan operator *fuzzy* seperti :

$F(x_1 \text{ is } A_1) \circ (x_2 \text{ is } A_2) \circ (x_3 \text{ is } A_3) \circ \dots \circ (x_n \text{ is } A_n) THEN y \text{ is } B$ dengan \circ adalah operator misalkan : OR atau AND). Dimana pada secara umum fungsi aplikasi yang dapat digunakan sebagai berikut :

- a. Min (Minimum) fungsi ini akan memotong output himpunan *fuzzy*.
- b. Dot (Product) fungsi ini akan menskala output himpunan *fuzzy*.

2.4.5 Rules

Pada *rules* (komposisi aturan) ini tidak seperti yang biasanya memakai penalaran monoton. Dimana jika suatu sistem terdiri dari beberapa aturan maka akan diperoleh inferensi dari kumpulan dan korelasi antar aturan, dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy* dapat dilakukan dengan tiga mode antara lain sebagai berikut :

- 1. Metode Max (Maximum)

Metode Max merupakan solusi himpunan *fuzzy* yang didapatkan dengan cara nilai tertinggi dari aturan *fuzzy*, kemudian nilai tertinggi tersebut digunakan kembali untuk

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang Menyalin, Mengutip, atau sebagian atau seluruhnya tanpa izin atau menyalin, mengutip, atau sebagian atau seluruhnya tanpa izin dari sumber.

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



memodifikasi daerah *fuzzy* dan dilakukannya aplikasi menggunakan operator OR ke *output* sistem, maka *ouput* akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi setiap

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber: [17].

$$u_{sf}(x) \max(u_{sf}(x), u_{sk}(x)) \tag{2.67}$$

Metode Additive (Sum)

Metode Sum yaitu untuk mendapatkan himpunan *fuzzy* dengan melakukan *boundedsum* ke semua daerah *fuzzy*.

$$u_{sf}(x) \max(1, u_{sf}(x), u_{sk}(x)) \tag{2.68}$$

Metode Probalistik OR (Probor)

Metode Probor yaitu untuk mendapatkan nilai himpunan *fuzzy* dengan melakukan *product* ke semua daerah *fuzzy*.

$$u_{sf}(x) \left[u_{sf}(x) + u_{sf}(x) \right] - \left[u_{sf}(x)u_{sf}(x) \right] \tag{2.69}$$

2.4.6 Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi merupakan *input* proses suatu himpunan *fuzzy* yang didapatkan dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*. Kemudian untuk aturan *fuzzy* ini digunakan aturan IF THEN *fuzzy* yang mana dalam persamaan berikut[12]:

$$RU(k) = \text{if } x_1 \text{ is } A_{1k} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{nk} \text{ THEN } y \text{ is } B_k \tag{2.70}$$

Dimana A_{1k} dan B_k berturut-turut adalah himpunan dari *fuzzy* didalam U_iR (U dan V adalah domain fisik), kemudian $i = 1,2 \dots \dots n$ dan $x = (x_1, x_2, \dots x_n)$ selanjutnya U dan y V berturut-turut adalah variabel *input* dan *output* (linguistik) dari sistem *fuzzy*. Defuzzyfikasi pada persamaan tadi bisa didefinisikan sebagai suatu pemetaan dari himpunan *fuzzy* B ke V R yang merupakan *output* dari inferensi ke titik tegas y^*V . Berikut nya pada metode sugeno defuzzyfikasi dapat dilakukan dengan perhitungan *weight average* (WA).

$$WA = \frac{a_1z_1 + a_2z_2 + a_3z_3 + \dots + a_nz_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n} \tag{2.71}$$

Dimana

WA Nilai rata-rata

a_n Nilai predikat aturan ke-n

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

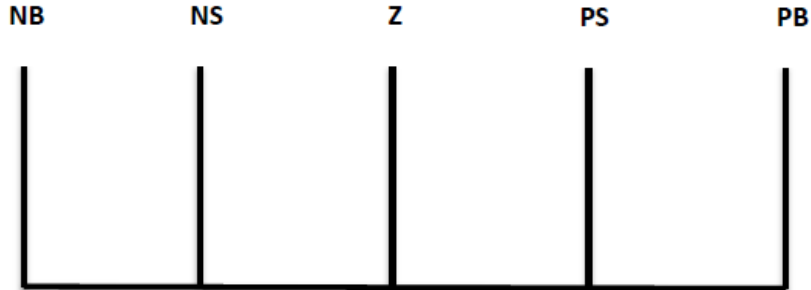
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber: [17].

© Hak cipta milik UIN Suska Riau





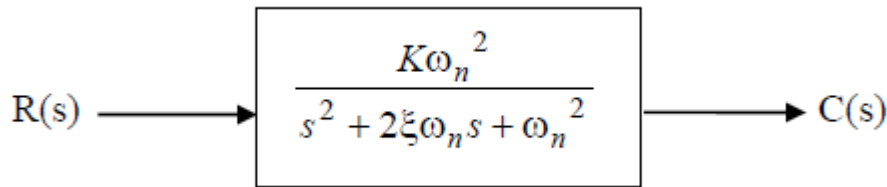
Indeks nilai output (konstanta) ke-n



Gambar 2. 8 Fungsi Keanggotaan Variabel Output Fuzzy Sugeno

2.5 Karakteristik Orde Kedua

Suatu sistem dikatakan ber-orde kedua jika fungsi alihnya mempunyai variabel s dengan pangkat tertinggi dua[18]. Model matematis pada sistem orde kedua dapat dinyatakan dengan bentuk diagram blok seperti gambar berikut ini :



Gambar 2. 9 Blok Diagram Sistem Orde Kedua[18]

Dimana R(s) dan C(s) merupakan sinyal masukan sistem dan sinyal keluaran sistem orde kedua dalam domain s. Sehingga fungsi alih loop tertutup (CLTF) sistem orde kedua sebagai berikut :

$$C(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \tag{2.72}$$

Dimana

- K Gain Overall
- ω_n Frekuensi Alami Tak Teredam
- ξ Rasio Peredaman

Karakteristik pada respon transien sistem orde kedua blok diagram terdiri dari yaitu :

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



1. Spesifikasi Teoritis

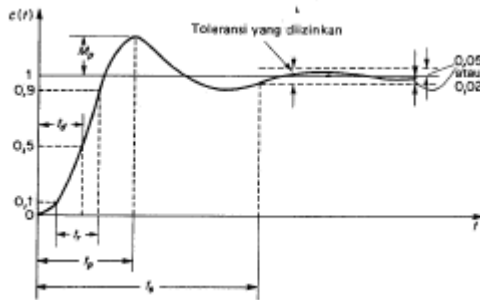
Dimana (ω_n) adalah freskuensi alami tak teredam dan (ξ) adalah rasio peredam.

Spesifikasi Praktis

Yaitu dimana diperoleh dengan asumsi respon sistem orde kedua dalam keadaan (*underdamped*)

6. Identifikasi Sistem

Sistem kendali *Coupled Tank* adalah sistem orde 2, identifikasi sistem pada orde 2 yaitu dilakukan dengan metode identifikasi grafis. Mode identifikasi dilakukan dengan pendekatan grafis, yang mana sinyal uji diberikan kepada sistem untuk mengetahui respon *open loop* sistem. Maka dari sistem responnya dapat diketahui karakteristik responnya[19]. Dalam menggolongkan identifikasi karakteristik tanggapan sistem suatu sistem kontrol terhadap masukan tangga satuan, umumnya dikelompokkan sebagai berikut :



Gambar 2. 10 Spesifikasi Respon *Transient*

Waktu Tunda / *Delay Time* (t_d)

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

Waktu Naik / *Rise Time* (t_r)

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%.

3. Waktu Penetapan / *Settling Time* (t_s)

Waktu penetapan yaitu diperlukan sistem untuk mencapai dan menetapkan dalam daerah sekitar daerah akhir yang diukurnya ditentukan dengan persentase mutlak dari harga akhir (biasanya 2% atau 5%)[9].



4. Error Steady State (e_{ss})

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

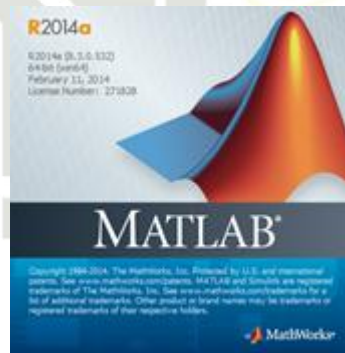
Maximum Overshoot ($M_p\%$)

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

$$M_p = e^{-(\sigma/\omega_d)\pi} \tag{2.73}$$

2.7 MATLAB

Matlab merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory* yang dalam bahasa dapat diartikan sebagai pemogramam *level* tinggi (semakin tinggi *level* bahasa pemograman maka semakin mudah pula menggunakannya). Dengan kemampuan kinerja yang tinggi untuk komputasi masalah pada teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi dan pemograman dalam satu lingkungan yang tunggal. Matlab juga memiliki sebuah sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrix* sebagai variabel elementnya tanpa menumbuhkan pendelarasian *array*[20].



Gambar 2. 11 Tampilan awal Matlab r2014a

Matlab dikembangkan oleh Mathwork pada tahun 1970. *Software* Matlab ini banyak digunakan dalam bidang yang membutuhkan perhitungan matematika yang rumit, dimana seluruh operasi perhitungan dalam Matlab berupa operasi matrik. Matlab dapat menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *plot* grafik dan dapat juga dirancang menggunakan GUI

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

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

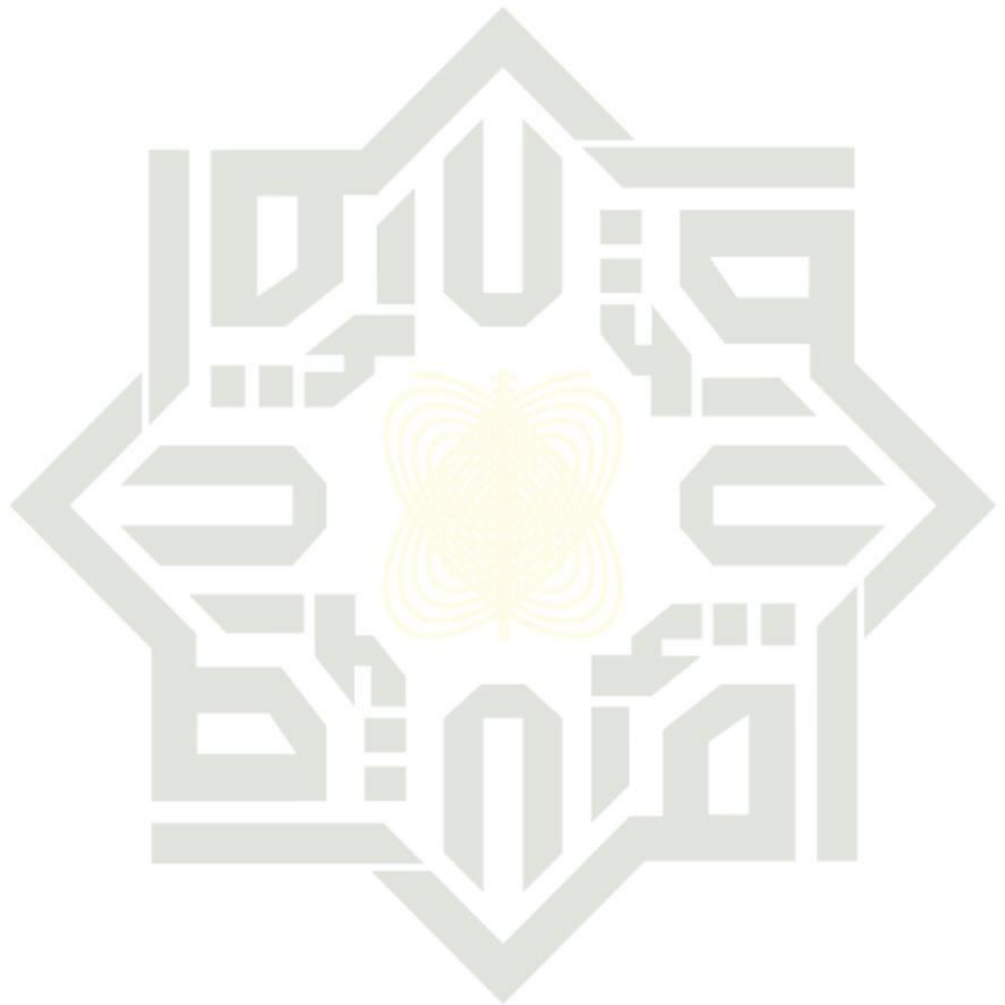


(*Graphical User Interface*) yang akan dirancang. Dalam *software* Matlab terdapat beberapa bagian penting yang digunakan dalam menjalankan program, yaitu :

Command Window digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.

Command History berfungsi agar fungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat digunakan kembali.

Workspace digunakan untuk membuat variabel yang ada dalam Matlab.



UIN SUSKA RIAU

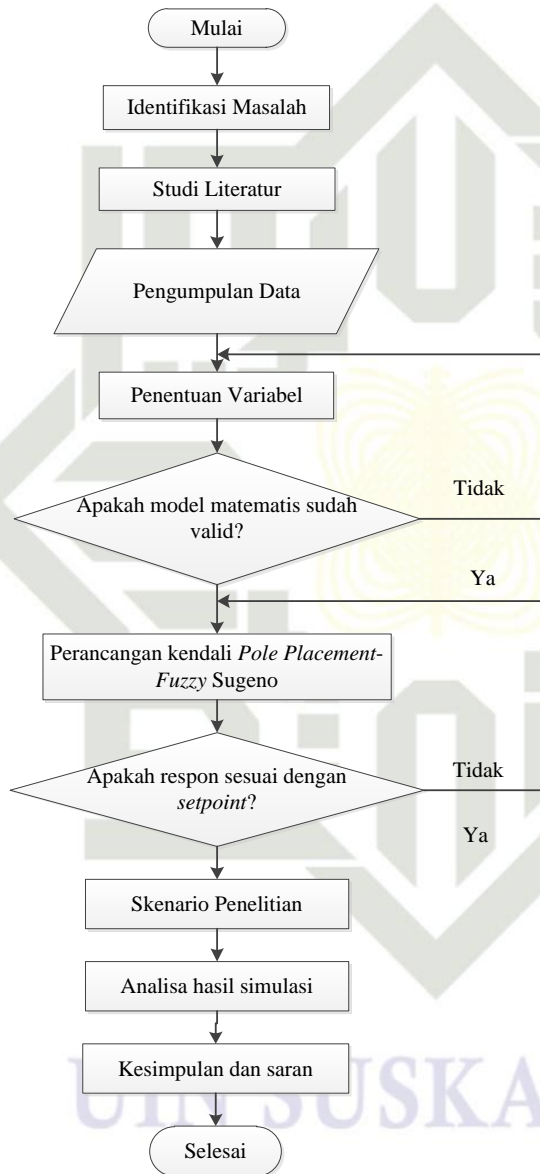


BAB III

METODELOGI PENELITIAN

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 *Flow Chart* Penelitian

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



3.2 Tahapan Metodologi

Berdasarkan *flowchart* penelitian diatas, agar dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka adapun tahap yang dilakukan dan dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Sebelum dilakukan penelitian, maka dicarilah masalah yang terdapat pada sistem *coupled tank* dengan me-review beberapa refensi yang akan berkaitan dengan *coupled tank* dan kendali.

2. Studi Literatur

Setelah mendapatkan masalah apa yang akan diangkat menjadi tugas akhir ini, maka selanjutnya adalah mencari dan mempelajari referensi terkait dengan *coupled tank* yang dibahas pada penelitian ini, baik berupa artikel penelitian yang telah dipublikasikan pada internet ataupun berupa jurnal dan tugas akhir.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data dilakukan lah dengan mengumpulkan data sebelumnya dengan membuat desain yang akan diperlukan untuk tahap selanjutnya. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah nilai parameter 10 cm dari rujukan penelitian ini agar tidak melenceng dari nilai yang telah diteliti dari jurnal maupun skripsi yang sudah ada pada sebelumnya.

4. Penentuan Variabel

Jadi setelah nilai masing-masing variabel pada tahap pengumpulan data didapatkan, kemudian variabel-variabel tersebut disubsitusikan ke dalam pemodelan matematis sistem pada persamaan (2.8) dan persamaan (2.9) dalam bentuk persamaan *state* sebagai berikut :

$$\dot{x}_1 = -\sqrt{\frac{g}{2 L_{10}}} x_1 + \frac{K_m}{A_1} V_p \tag{2.14}$$

$$\dot{x}_2 = -\sqrt{\frac{g}{2 L_{20}}} x_2 + \frac{\alpha_1}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2 L_{10}}} x_1 \tag{2.15}$$

5. Pengujian *Plant Coupled Tank*

Pada pemodelan yang telah diperoleh perlu diuji dengan respon pada *plant* sebelum didesain pengendali. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pemodelan sudah sesuai dengan referensi dan apakah formulasi yang digunakan sesuai untuk sistem kendali yang akan dibuat.

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

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

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

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

Sate Ishtiaq of Sultan Syarif Kasir



6. Perancangan Kendali

Pada penelitian ini menggunakan kendali *pole placement-fuzzy* sugeno untuk mengatasi *error steady state* dengan memasukkan data-data yang telah didapatkan pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam simulasi matlab.

1. Skenario Penelitian

Skenario yang akan diambil pada penelitian ini adalah pengujian secara *open loop*, pengujian *pole placement*, pengujian *pole placement-fuzzy* sugeno, perubahan *setpoint* dan perubahan *setpoint* kembali ke *setpoint*.

2. Analisa Hasil Pengujian

Melakukan analisa hasil pengujian dan mengklarifikasi hasil tersebut terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Jika telah memenuhi tujuan berarti penelitian telah berhasil dan apabila belum memenuhi tujuan maka diperlukan mengkaji lebih lanjut.

3. Kesimpulan Dan Saran

Setelah dilakukan analisa hasil dan sesuai dengan tujuan yang penelitian lakukan berhasil dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian. Juga dapat memberikan saran-saran yang berguna untuk dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

3.3 Pemodelan *Coupled Tank*

Agar dapat memodelkan *coupled tank*, maka dilakukannya pengumpulan data dan pra-design yang akan dimasukkan kedalam pemodelan matematis *coupled tank*, untuk parameter *coupled tank* dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini sebagai berikut :

Tabel 3.1 Parameter *Coupled Tank*[4]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Diameter pada Tank 1	A_1	15,5179	cm^2
Diameter pada Tank 2	A_2	15,5179	cm^2
Gravitasi	G	980	$cm/detik^2$
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
Suas Penampang Tangki 1	α_1	0,17813919765	cm
Suas 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

Berdasarkan persamaan 2.28 setelah dimasukkan nilai-nilai parameter *coupled tank* pada tabel 3.1 ke dalam *state space coupled tank*, maka didapatkan *state space coupled tank* sebagai berikut :

$$= \begin{bmatrix} -\frac{\alpha_1}{A_1} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} & 0 \\ +\frac{\alpha_1}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2L_{10}}} & -\frac{\alpha_2}{A_2} \sqrt{\frac{g}{2L_{20}}} \end{bmatrix}$$

Dari persamaan 2.28 dan persamaan 2.29 maka dimasukkan nilai parameter tabel 3.1

seperti dibawah ini :

$$= \begin{bmatrix} -\frac{0,17813919765}{15,5179} \sqrt{\frac{980}{2(15)}} & 0 \\ +\frac{0,17813919765}{15,5179} \sqrt{\frac{980}{2(15)}} & -\frac{0,17813919765}{15,5179} \sqrt{\frac{980}{2(15)}} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 4,6 \\ 15,5179 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dengan nilai matriks A, B dan C seperti dibawah ini :

$$= \begin{bmatrix} -0,0649 & 0 \\ 0,0649 & -0,0649 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,964 \\ 0 \end{bmatrix}$$

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

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

$$C = [c_1 \quad c_2]$$

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

Sehingga persamaan linear sistemnya menjadi seperti dibawah ini :

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 - a. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mentauntumkan dan menyebutkan sumber.
 - b. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
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 Space of UIN Suska Riau

UIN SUSKA RIAU



$$\begin{bmatrix} -0,0649 & 0 \\ 0,0649 & -0,0649 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,2964 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

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

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

$$\begin{bmatrix} -0,0649 & 0 \\ 0,0649 & -0,0649 \end{bmatrix}$$

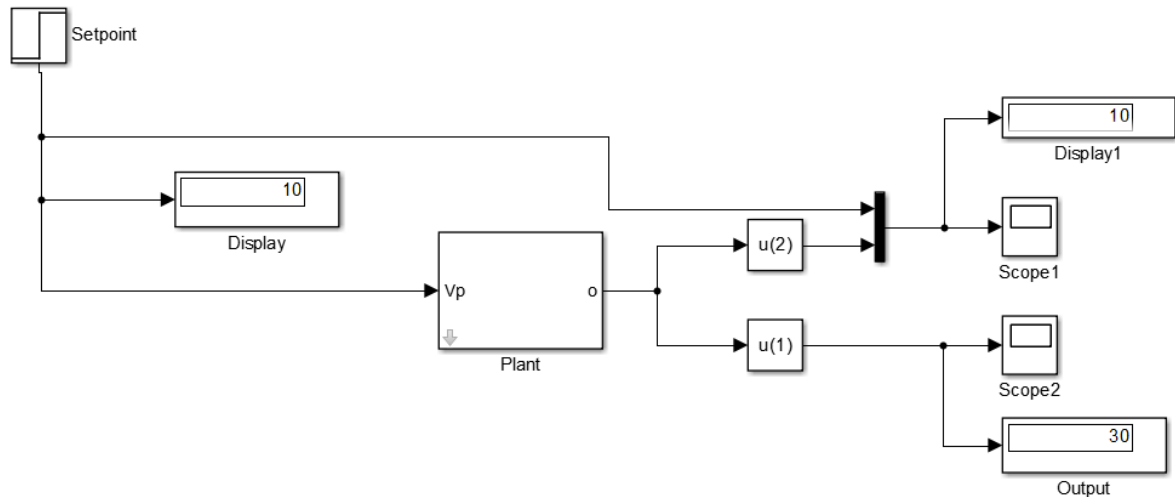
$$\begin{bmatrix} 0,2964 \\ 0 \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.4 Simulasi dan Verifikasi *Plant Coupled Tank*

Pengujian pada *plant coupled tank* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *simulink* Matlab dengan *setpoint* 10 cm, dengan menggunakan *state space* maka dilakukan pengujian secara *open loop* pada *plant coupled tank* seperti gambar dibawah ini :

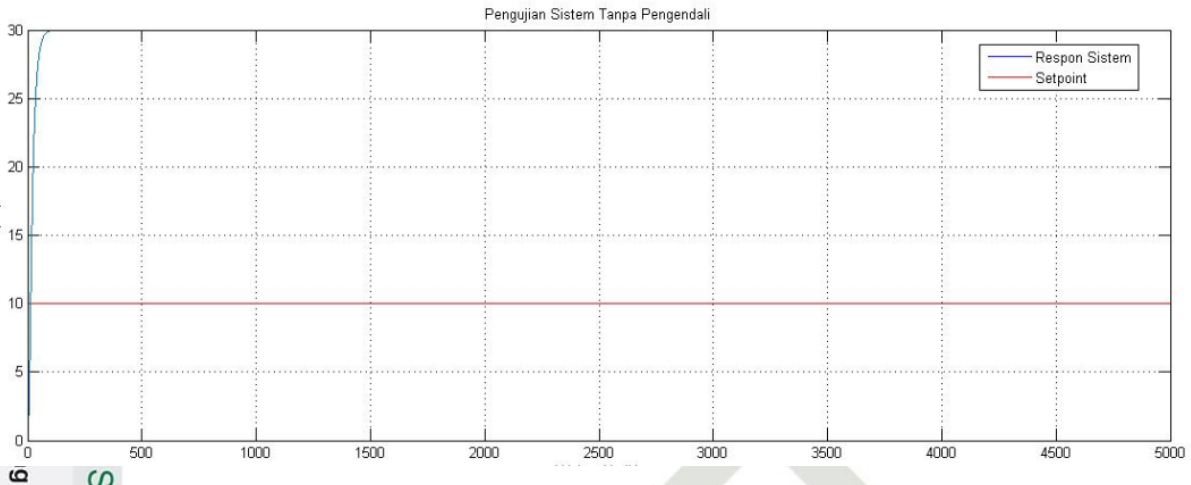


Gambar 3. 2 Rangkaian *Open Loop Plant*

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

UIN SUSKA RIAU

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



Gambar 3. 3 Respon Sistem *Plant* secara *Open Loop*

Berdasarkan grafik hasil pengujian sistem secara *open loop* dapat dilihat bahwa respon sistem keluaran sistem sama dengan jurnal yang dirujuk[4] 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 sistem harus disimulasi dengan beberapa skenario yang dimana skenario tersebut menghasilkan minimal satu grafik. Penelitian ini menggunakan pengendali *pole placement-fuzzy sugeno* dengan memasukkan data-data yang telah didapat pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam program Matlab, berdasarkan parameter penelitian terkait dengan nilai *setpoint* 10 cm. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian dengan melihat hasil grafik pada simulasi, data yang diambil yaitu respon *transient* dari pengujian tersebut. Adapun pengujian yang akan dilakukan yaitu:

1. Simulasi sistem secara *open loop*.
2. Simulasi menggunakan kendali *pole placement*.
3. Simulasi menggunakan kendali *pole placement-fuzzy sugeno*.
4. Simulasi kendali *pole placement-fuzzy sugeno* dalam mengatasi perubahan *setpoint* 8 cm.
5. Simulasi kendali *pole placement-fuzzy sugeno* dalam mengatasi perubahan *setpoint* 8 cm kemudian kembali ke *setpoint* 10 cm.



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 gain kompensator. Untuk mendapatkan respon yang memiliki maksimum *overshoot* ±16% dan *settling time* yang cepat maka penempatan *pole* sebagai berikut :

$$s_1 = -1 + j\sqrt{3} \quad s_2 = -1 - j\sqrt{3} \tag{3.1}$$

Pembuktian untuk memiliki maksimum *overshoot* ±16% dengan cara distributif sebagai berikut :

$$\begin{aligned} (s + 1 - j\sqrt{3})(s + 1 + j\sqrt{3}) \\ (s^2 + s - j\sqrt{3}s + s + 1 + j\sqrt{3} - j\sqrt{3}s - j\sqrt{3} - (j\sqrt{3})^2) \\ (s^2 + 2s + 1 - (j\sqrt{3})^2) \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana } j^2 &= -1 \\ (s^2 + 2s + 1 - (j^2\sqrt{3})^2) \\ (s^2 + 2s + 1 - (-1(3))) \\ (s^2 + 2s + 1 - (-3)) \\ (s^2 + 2s + 4) \end{aligned} \tag{3.3}$$

Dari karakteristik sistem orde pada persamaan 2.72 sebagai berikut:

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$$

Dari persamaan 2.72 dan persamaan 3.3 maka diperoleh :

$$\omega_n^2 = 4$$

$$\omega_n = 2$$

Dan dari persamaan 2.72 dan persamaan 3.3 maka yaitu :

$$\zeta\omega_n = 2$$

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

$$\zeta = \frac{2}{4} = 0,5$$

Overshoot maksimum dari persamaan 2.73 sebagai berikut :

$$M_p = e^{-\sigma/\omega_d}^\pi \tag{3.4}$$

Dengan

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

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

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

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

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan sumber.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU



$$\zeta = 2\sqrt{1 - 0,5^2} = 1,732 \tag{3.5}$$

31. Diarahkan sebagai berikut:

$$\omega_n \zeta = 2(0,5) = 1 \tag{3.6}$$

Sehingga overshoot maksimum :

$$M_p = e^{-\zeta/\omega_n \pi} = e^{-(1/1,732)3,14} = 0,163 \tag{3.7}$$

Maka persen overshoot maksimum sebagai berikut :

$$\%M_p = 0,163 \times 100\% = 16,3\% \tag{3.8}$$

Gain kompensator ditambahkan agar respon dapat mengikuti sinyal referensi dengan cepat. Sehingga dengan kontrol *close loop*, kompensator dirancang berdasarkan berbanding sinyal referensi dan sinyal aktual. Sehingga dari persamaan 2.32 sampai dengan persamaan 2.35 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \\ \dot{e} &= -Kx + kc\xi \\ r - y &= r - Cx \end{aligned}$$

Dari persamaan 2.42 karena sinyal referensi $r(t)$ adalah *unit step input*, maka didapatkanlah *state error* sebagai berikut :

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

Dengan persamaan 2.46 dan persamaan 2.47 nilai matriks \hat{A} dan \hat{B} sebagai berikut :

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0649 & 0 & 0 \\ 0,0649 & -0,0649 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2964 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Dengan persamaan 2.48 sinyal kontrol berupa :

$$u_e = -Ke$$

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

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.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

State Islamic University of Sunan Syarif Kasim

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU



Dimana dari persamaan 2.49 :

$$[K - kr] = [k_1 \ k_2 \ -k_c]$$

Dari persamaan 2.50 rank matriks P :

$$P = \begin{bmatrix} A & B \\ -I & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,0649 & 0 & 0,2964 \\ 0,0649 & -0,0649 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

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

Selanjutnya dari persamaan 2.52 :

$$sI - \hat{A} = \begin{vmatrix} s & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & s \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -0,0649 & 0 & 0 \\ 0,0649 & -0,0649 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$sI - \hat{A} = \begin{vmatrix} s & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & s \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -0,0649 & 0 & 0 \\ 0,0649 & -0,0649 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$sI - \hat{A} = \begin{vmatrix} s + 0,0649 & 0 & 0 \\ -0,0649 & s + 0,0649 & 0 \\ 1 & 0 & s \end{vmatrix}$$

$$sI - \hat{A} = \begin{vmatrix} s + 0,0649 & 0 & 0 \\ -0,0649 & s + 0,0649 & 0 \\ 1 & 0 & s \end{vmatrix} \begin{vmatrix} s + 0,0649 & 0 \\ -0,0649 & s + 0,0649 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$$

$$sI - \hat{A} = (s + 0,0649)(s + 0,0649)(s) + (0)(0)(1) + (0)(-0,0649)(0) - (0)(s + 0,0649)(1) - (s + 0,0649)(0)(0) - (0)(-0,0649)(s)$$

$$sI - \hat{A} = (s + 0,0649)(s + 0,0649)(s)$$

$$sI - \hat{A} = (s^2 + 0,0649s + 0,0649s + 0,0042)(s)$$

$$sI - \hat{A} = s^3 + 0,1298s^2 + 0,0042s + 0$$

Dengan ketentuan persamaan 2.53 :

$$s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3$$

Sehingga dari persamaan 2.52 dan persamaan 2.53 didapatkan :

$$a_1 = 0,1298 \quad a_2 = 0,0042 \quad a_3 = 0$$

Untuk mendapatkan respon yang memiliki maksimum *overshoot* $\pm 16\%$ dan *settling time* yang cepat maka penempatan *pole* dilakukan pada :

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

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

State Islamic University of Sunan Kasiryo

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU



$$\begin{aligned}
 s_1 &= -1 + j\sqrt{3} & s_2 &= -1 - j\sqrt{3} & s_3 &= -0,01 \\
 (s+1-j\sqrt{3})(s+1+j\sqrt{3})(s+0,01) \\
 (s^2+2s+1-j\sqrt{3}s+s+1+j\sqrt{3}-j\sqrt{3}s-j\sqrt{3}-j\sqrt{3})^2(s+0,01) \\
 (s^2+2s+1-(j\sqrt{3})^2)(s+0,01)
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dimana } j^2 &= -1 \\
 (s^2+2s+1-(j^2\sqrt{3}^2))(s+0,01) \\
 (s^2+2s+1-(-1(3)))(s+0,01) \\
 (s^2+2s+1-(-3))(s+0,01) \\
 (s^2+2s+4)(s+0,01) \\
 (s^3+2,01s^2+4,02s+0,04)
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Dengan ketentuan persamaan 2.57 :

$$s^3 + \beta_1 s^2 + \beta_2 s + \beta_3$$

sehingga dari persamaan 2.57 dan persamaan 3.10 didapatkan :

$$\beta_1 = 2,01 \quad \beta_2 = 4,02 \quad \beta_3 = 0,04$$

Dari persamaan 2.54 transformasi matriks T :

$$= MW$$

Dimana persamaan 2.55 sebagai berikut:

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

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} 0,2964 & -0,0192 & 0,0013 \\ 0 & 0,0192 & 0,0025 \\ 0 & -0,2964 & 0,0013 \end{bmatrix}$$

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} 0,2964 & -0,0192 & 0,0013 \\ 0 & 0,0192 & -0,0013 \\ 0 & -0,0192 & 0,0013 \end{bmatrix}$$

Dan dari persamaan 2.56 :

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

$$W = \begin{bmatrix} 0,0042 & 0,1298 & 1 \\ 0,298 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Maka dari persamaan 2.54 sampai persamaan 2.56 diperoleh sebagai berikut :

$$T = MW$$

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

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.

© Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

Stater Islamic University of Suhan Syarif Kasim

UIN Suska Riau



$$\begin{bmatrix} 0,2964 & -0,0192 & 0,0013 \\ 0,0192 & 0,0013 & \\ -0,0192 & 0,0013 & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,0042 & 0,1298 & 1 \\ 0,1298 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,00005272 & 0,01927272 & 0,2964 \\ -0,000007848 & 0,0192 & 0 \\ -0,03717272 & -0,2964 & 0 \end{bmatrix}$$

Di mana dari persamaan 2.53 dan persamaan 2.57 maka diperoleh :

$$[\beta_3 - a_3 : \beta_2 - a_2 : \beta_1 - a_1]$$

$$[0,04 - 0 : 4,02 - 0,0042 : 2,01 - 0,1298]$$

$$[0,04 \quad 4,0158 \quad 1,8802]$$

Berdasarkan teknik *pole placement* dari persamaan 2.59 samapai dengan persamaan 2.60, didapatkan nilai *gain* kompensator yang diinginkan yaitu :

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

$$K = [0,04 \quad 4,0158 \quad 1,8802]T^{-1}$$

$$K = [k_1 \ k_2 \ k_c] = [6,343 \quad 185,711 \quad -1,106]$$

7. Perancangan Fuzzy Sugeno

Ada beberapa metode untuk pengendali *fuzzy* yaitu seperti metode Tsukomoto, metode Mamdani dan metode Sugeno. Dari beberapa metode yang ada maka metode Sugeno yang digunakan penulis gunakan untuk penelitian ini. Penulis menggunakan *rule base* 5x5 untuk sistem inferensi *fuzzy*. Pada fungsi keanggotan penulis menggunakan bentuk segitiga(*triangle*), maka penggunaan bentuk segitiga(*triangle*) adalah untuk menentukan nilai tengah. Adapun beberapa tahap perancangan dapat dilihat sebagai berikut :

1. Fuzzifikasi

Perancangan fuzzifikasi dalam pemodelan ini penulis menggunakan *error* dengan *range* [-10 10] dan *delta error* dengan *range* [-5 5] dan sebagai *ouput* dengan *range* [0 0,4426] gambar 3.3 dibawah ini merupakan *fuzzyfikasi* dari perancangan *fuzzy* penelitian ini sebagai berikut:

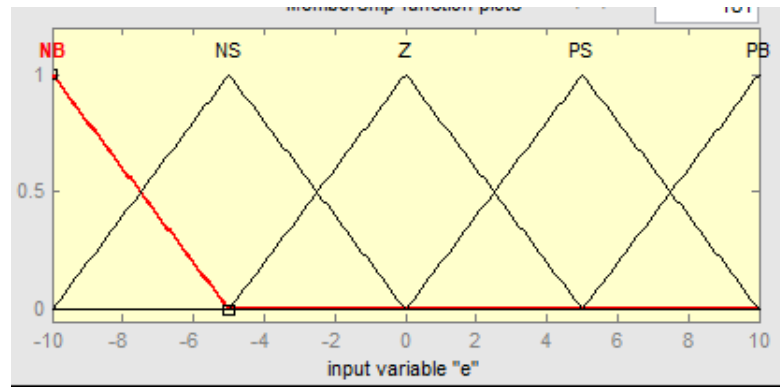
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 4. 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.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

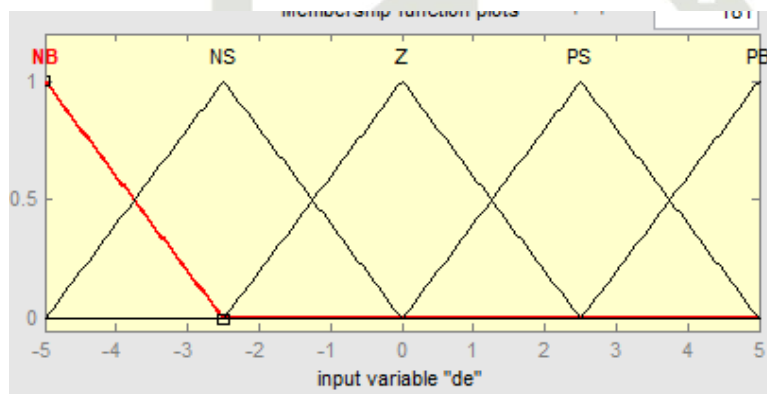
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



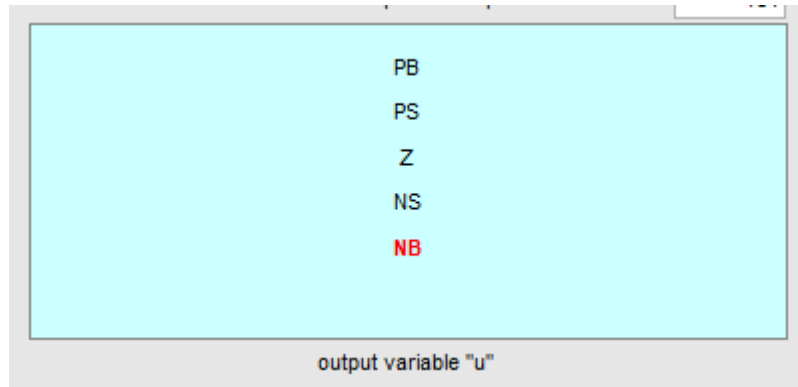
Gambar 3. 4 Fungsi Keanggotaan Kesalahan (e)

Gambar 3.4 diatas merupakan fungsi keanggotaan kesalahan (e) sehingga dapat dilihat 5 fungsi keanggotaan yaitu, NB (*Negatif Big*), NS (*Negatif Small*), Z (*Zero*), PS (*Positif Small*), PB (*Positif Big*) yang mana fungsi keanggotan berbentuk segitiga. Maka rentang himpunan fuzzy NB (*Negatif Big*) yaitu [-15 -10 -5], NS (*Negatif Small*) yaitu [-10 -5 0], Z (*Zero*) yaitu [-5 0 5], PS (*Positif Small*) yaitu [0 5 10] dan PB (*Positif Big*) yaitu [5 10 15].



Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan *Derivatif* (Derror)

Gambar 3.5 diatas merupakan fungsi keanggotaan *derivatif* (Δe) sehingga dapat dilihat 5 fungsi keanggotaan yaitu, NB (*Negatif Big*), NS (*Negatif Small*), Z (*Zero*), PS (*Positif Small*), PB (*Positif Big*) yang mana fungsi keanggotan berbentuk segitiga. Maka rentang himpunan fuzzy NB (*Negatif Big*) [-7,5 -5 -2,5], NS (*Negatif Small*) yaitu [-5 -2,5 0], Z (*Zero*) yaitu [-2,5 0 2,5], PS (*Positif Small*) yaitu [0 2,5 5] dan PB (*Positif Big*) yaitu [2,5 5 7,5].



Gambar 3. 6 Fungsi Keanggotaan Sinyal Kontrol (u)

Gambar 3.6 diatas merupakan fungsi keanggotaan sinyal kontrol (u) sehingga dapat dilihat 5 fungsi keanggotaan yaitu, NB (*Negatif Big*), NS (*Negatif Small*), Z (*Zero*), PS (*Positif Small*), PB (*Positif Big*). Maka rentang himpunan fuzzy NB (*Negatif Big*) yaitu [0], NS (*Negatif Small*) yaitu [0,1107], Z (*Zero*) yaitu [0,2213], PS (*Positif Small*) yaitu [0,332] dan PB (*Positif Big*) yaitu [0,4426].

2. Rule Base

Agar mengetahui derajat keanggotaan maka dilakukannya *rule base* sistem fuzzy, penulis dalam penelitian ini menggunakan pendekatan heuristik untuk menentukan *rule base* nya. Pendekatan heuristik yaitu pendekatan yang membangun *rule base* berdasarkan pengeksporasian pengetahuan pakar dan analisa perilaku sistem, pendekatan pada perilaku ini sistemnya berdasarkan pengetahuan sistem secara kualitatif[17], adapun *rule base* yang penulis buat sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rule Base Fuzzy[15]

Δe	e					
		NB	NS	Z	PS	PB
NB		NB	NB	NS	NS	Z
NS		NB	NS	NS	Z	PS
Z		NS	NS	Z	PS	PS
PS		NS	Z	PS	PS	PB
PB		Z	PS	PS	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.

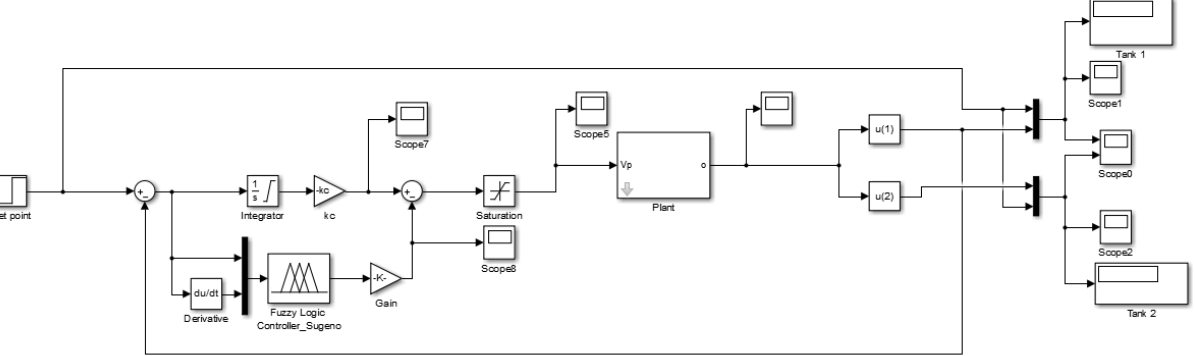


Cara pembacaan *rule base fuzzy* seperti dibawah ini :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. 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. $(error\ is\ NB)\ and\ (Derror\ is\ NB)\ then\ (output\ is\ NB)$
 2. $(error\ is\ NB)\ and\ (Derror\ is\ NS)\ then\ (output\ is\ NB)$
 3. $(error\ is\ NB)\ and\ (Derror\ is\ Z)\ then\ (output\ is\ NS)$
 4. $(error\ is\ NB)\ and\ (Derror\ is\ PS)\ then\ (output\ is\ NS)$
 5. $(error\ is\ NB)\ and\ (Derror\ is\ PB)\ then\ (output\ is\ Z)$
 6. $(error\ is\ NS)\ and\ (Derror\ is\ NB)\ then\ (output\ is\ NB)$
 7. $(error\ is\ NS)\ and\ (Derror\ is\ NS)\ then\ (output\ is\ NS)$
 8. $(error\ is\ NS)\ and\ (Derror\ is\ Z)\ then\ (output\ is\ NS)$
 9. $(error\ is\ NS)\ and\ (Derror\ is\ PS)\ then\ (output\ is\ Z)$
 10. $(error\ is\ NS)\ and\ (Derror\ is\ PB)\ then\ (output\ is\ PS)$
 11. $(error\ is\ Z)\ and\ (Derror\ is\ NB)\ then\ (output\ is\ NS)$
 12. $(error\ is\ Z)\ and\ (Derror\ is\ NS)\ then\ (output\ is\ NS)$
 13. $(error\ is\ Z)\ and\ (Derror\ is\ Z)\ then\ (output\ is\ Z)$
 14. $(error\ is\ Z)\ and\ (Derror\ is\ PS)\ then\ (output\ is\ PS)$
 15. $(error\ is\ Z)\ and\ (Derror\ is\ PB)\ then\ (output\ is\ PS)$
 16. $(error\ is\ PS)\ and\ (Derror\ is\ NB)\ then\ (output\ is\ NS)$
 17. $(error\ is\ PS)\ and\ (Derror\ is\ NS)\ then\ (output\ is\ Z)$
 18. $(error\ is\ PS)\ and\ (Derror\ is\ Z)\ then\ (output\ is\ PS)$
 19. $(error\ is\ PS)\ and\ (Derror\ is\ PS)\ then\ (output\ is\ PS)$
 20. $(error\ is\ PS)\ and\ (Derror\ is\ PB)\ then\ (output\ is\ PB)$
 21. $(error\ is\ PB)\ and\ (Derror\ is\ NB)\ then\ (output\ is\ Z)$
 22. $(error\ is\ PB)\ and\ (Derror\ is\ NS)\ then\ (output\ is\ PS)$
 23. $(error\ is\ PB)\ and\ (Derror\ is\ Z)\ then\ (output\ is\ PS)$
 24. $(error\ is\ PB)\ and\ (Derror\ is\ PS)\ then\ (output\ is\ PB)$
 25. $(error\ is\ PB)\ and\ (Derror\ is\ PB)\ then\ (output\ is\ PB)$

3. Defuzzifikasi

Metode defuzzifikasi yang digunakan pada *fuzzy* ini adalah menggunakan metode *weight average* (WA).



Gambar 3. 8 Rangkaian Sistem Kendali *Pole Placement -Fuzzy Sugeno*

ndang

IN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

1. Uraian ringkas mengenai 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 mass

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

Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa respon sistem yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Penelitian ini berhasil menghasilkan kendali *pole placement-fuzzy* sugeno yang mampu mengatasi permasalahan *settling time* dan *error steady state* pada *plant coupled tank* ditangki dua hal ini bisa terlihat dari nilai $t_s = 54,04$ detik dan $e_{ss} = 0$ cm.
2. Pada kendali *pole placement-fuzzy* sugeno dapat mempercepat *settling time* dan menghilangkan *error steady state*.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan kendali *pole placement-fuzzy* sugeno 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.



DAFTAR PUSTAKA

1. E. D. Puspitarini, R. Effendie, and J. Pramudijanto, "Desain Pengaturan Level pada Coupled Tank Process dengan Menggunakan Metode Model Predictive Control," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21345.
2. D. Mursyitah, A. Faizal, and E. Ismaredah, "Level Control in Coupled Tank System Using PID-Fuzzy Tuner Controller," *2018 Electr. Power, Electron. Commun. Control. Informatics Semin. EECCIS 2018*, pp. 293–298, 2018, doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692846.
3. B. D. Apriyadi and R. E. A.K., "Perancangan Sliding Mode Controller Untuk Sistem Pengaturan Level Dengan Metode Decoupling Pada Plant Coupled Tanks," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 2–7, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21980.
4. H. Mudia, "Comparative Study of Mamdani-type and Sugeno-type Fuzzy Inference Systems for Coupled Water Tank," *Indones. J. Artif. Intell. Data Min.*, vol. 3, no. 1, p. 42, 2020, doi: 10.24014/ijaidm.v3i1.9309.
5. H. Mudia, "Radial Basis Function Neural Network Control for Coupled Water Tank," vol. 3, no. 2, pp. 64–70, 2020.
6. J. K. Goyal, S. Aggarwal, S. Ghosh, S. Kamal, and U. Vuyyuru, "R ∞ Based PI Controller Design for Coupled Tank System through Polytopic Modeling," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, vol. 2019-Octob, pp. 383–388, 2019, doi: 10.1109/IECON.2019.8927571.
7. Y. Ramadhan, J. T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "Kendali Posisi Motor DC Dengan Menggunakan Pole Placement," no. 0274, pp. 2–6.
8. G. Abbas, U. Farooq, and M. U. Asad, "Fuzzy logic based robust pole-placement controller for DC-DC buck converter," *ICICT 2011 - Proc. 4th Int. Conf. Inf. Commun. Technol.*, pp. 127–132, 2011, doi: 10.1109/ICICT.2011.5983560.
- [9] K. Ogata, *Modern Contro Engineering*, vol. 39, no. 12. 2010.
- [10] E. Darmawan, "Perancangan Sistem Kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic pada Pengendalian Kecepatan Motor DC menggunakan Metode Quarter Decay," 2020.
- [11] H. Nakanishi, I. B. Turksen, and M. Sugeno, "A review and comparison of six reasoning methods," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 57, no. 3, pp. 257–294, 1993, doi: 10.1016/0165-0114(93)90024-C.

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.



[12]

L. R. Dorteus, "Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno Berdasarkan Data Persediaan Dan Jumlah Permintaan (Studi Kasus : Pabrik Roti Sarinda Ambon)," *J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 9, no. 2, pp. 121–134, 2015, [Online]. Available: <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/barekeng/article/view/289/249>.

[13]

I. Nawawi and B. Fatkhurrozi, "Studi Komparasikendali Motor Dc Dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani Dan Sugeno," *J. Teknol. Tek. Elektro Univ. Tidar*, vol. 1, no. 2, pp. 35–44, 2017.

[14]

M. U. Khalid and M. B. Kadri, "Liquid level control of nonlinear Coupled Tanks System using linear model predictive control," *Proc. - 2012 Int. Conf. Emerg. Technol. ICET 2012*, no. 1, pp. 31–35, 2012, doi: 10.1109/ICET.2012.6375434.

[15]

Dwi Ana Ratna Wati, Ed., *Sistem Kendali Cerdas*, Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.

[16]

B. Y. A. Setiawan, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*, vol. 1, no. 13508029. 2018.

[17]

S. K. dan H. Purnomo, "Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan," Graha Ilmu, 2004.

[18]

S. Nurlita Gamayanti, "Karakteristik Sistem Orde Kedua," *A Dosen Nurlita Gamayanti, ST PENGANTAR*, vol. 87, no. 6, pp. 1025–1030, 2013, doi: 10.7868/s0044453713060125.

[19]

D. Mursyitah and D. Mursyitah, "Analisa Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Pengendali Hybrid SMC dan Pid dengan Metode Heuristik," vol. 14, no. 1, pp. 32–36, 2016.

[20]

B. Cahyono, "(MATLAB) DALAM PEMBELAJARAN Perkembangan dan kehadiran teknologi komputer telah memberikan kemudahan berbagai pihak untuk menggunakannya dalam bidang kehidupan , termasuk pendidikan , sebagai sarana penunjang pendidikan . Komputer semakin memberikan," vol. 1, pp. 45–62.

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.

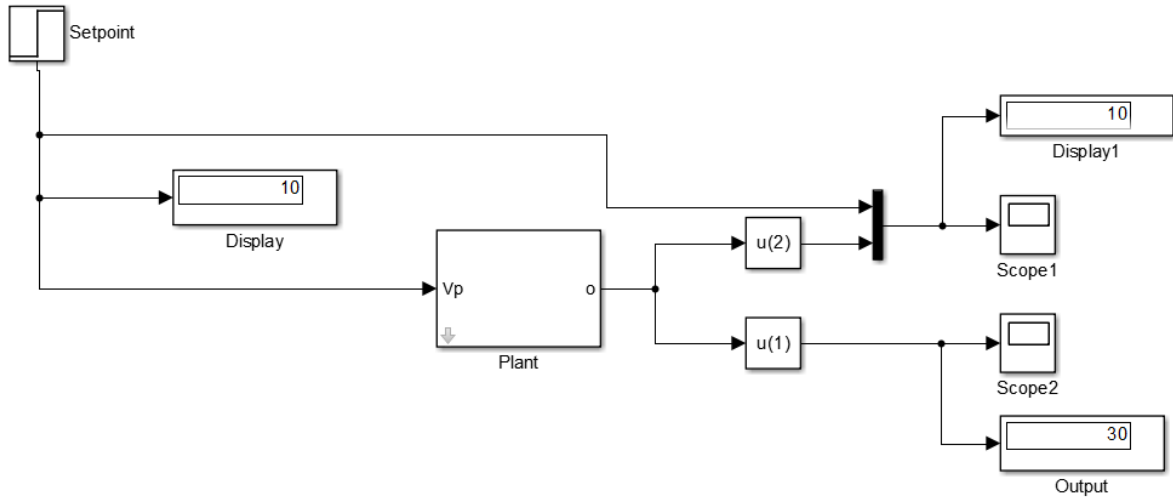
LAMPIRAN A

RANGKAIAN KENDALI PADA SIMULINK

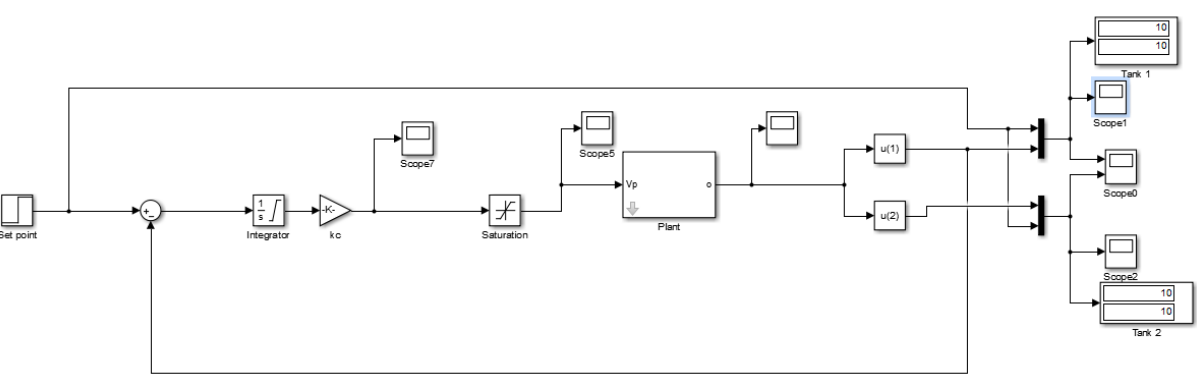
© Hak Cipta

Hak Cipta

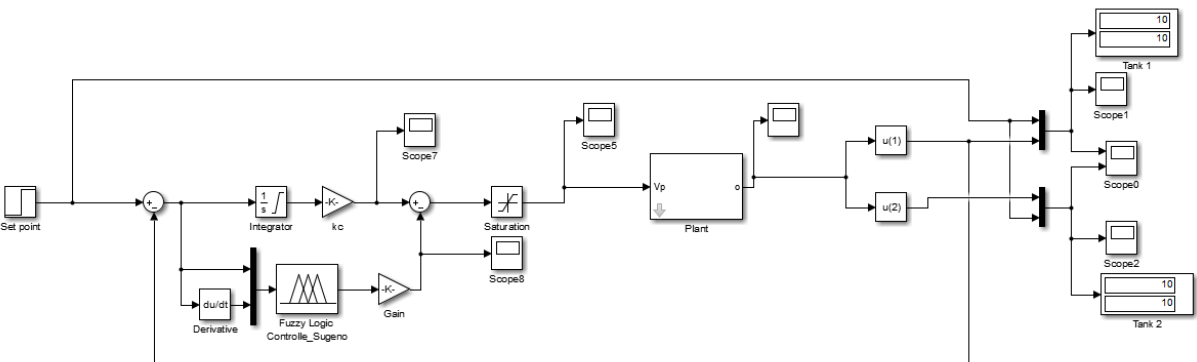
1. Rangkaian *Coupled Tank* dengan *Open Loop*



2. Rangkaian *Coupled Tank* dengan menggunakan kendali *Pole Placement*



3. Rangkaian *Coupled Tank* dengan menggunakan kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno*

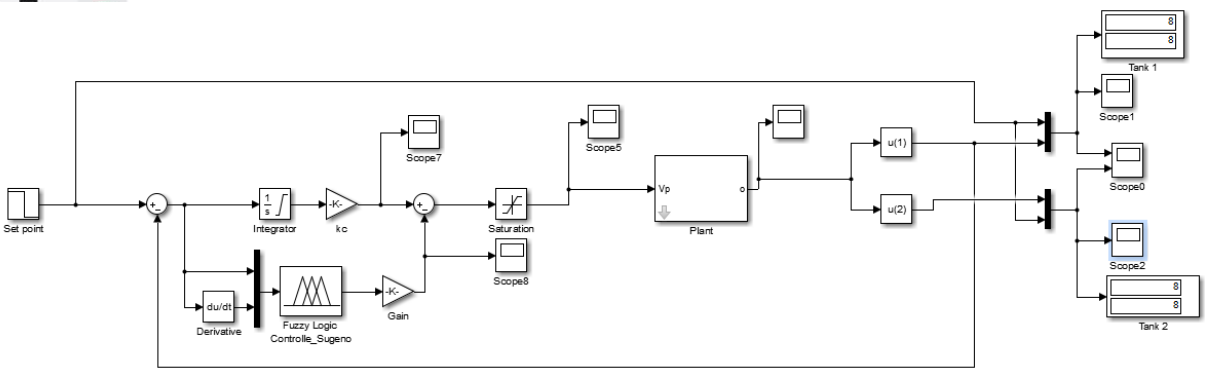


1. Dilarang menyalin atau mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa izin dari UIN Suska Riau.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

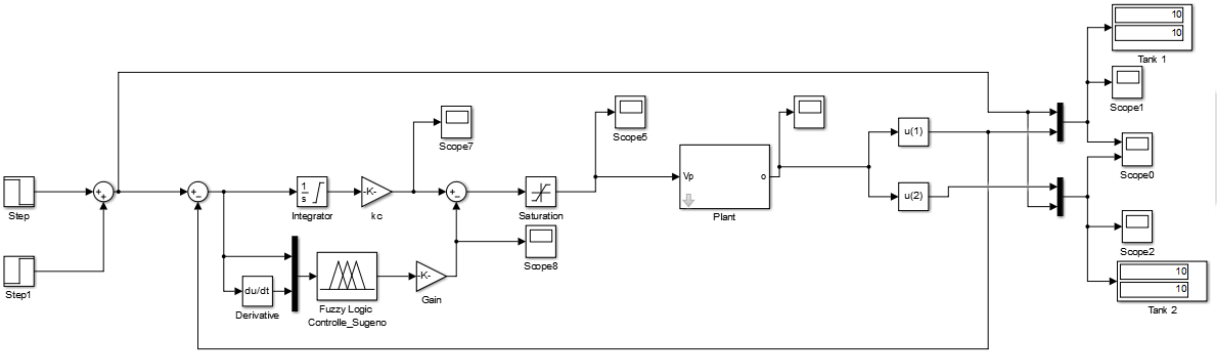
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Syarif Kasim

Rangkaian Kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno Coupled Tank* dengan perubahan *Setpoint* 8 cm dengan waktu 1500 detik



Rangkaian kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno* pada *Coupled Tank* dengan perubahan *Setpoint* 8 cm dengan waktu 1500 detik kembali ke setpoint 10 cm dengan waktu 3500 detik



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

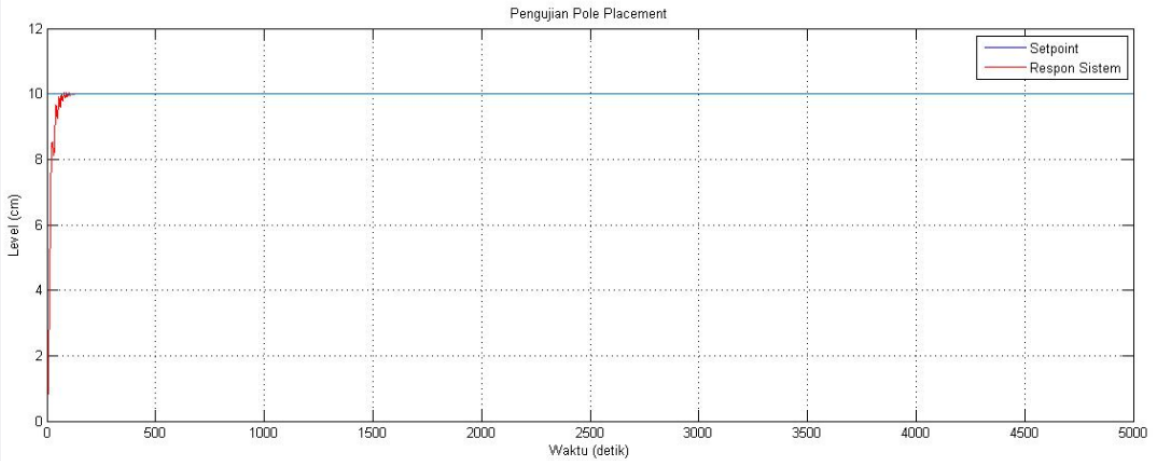


LAMPIRAN B RESPON KELUARAN PADA SIMULINK

Respon keluaran *Coupled Tank* secara *Open Loop*



Respon keluaran *Coupled Tank* dengan menggunakan kendali *Pole Placement*



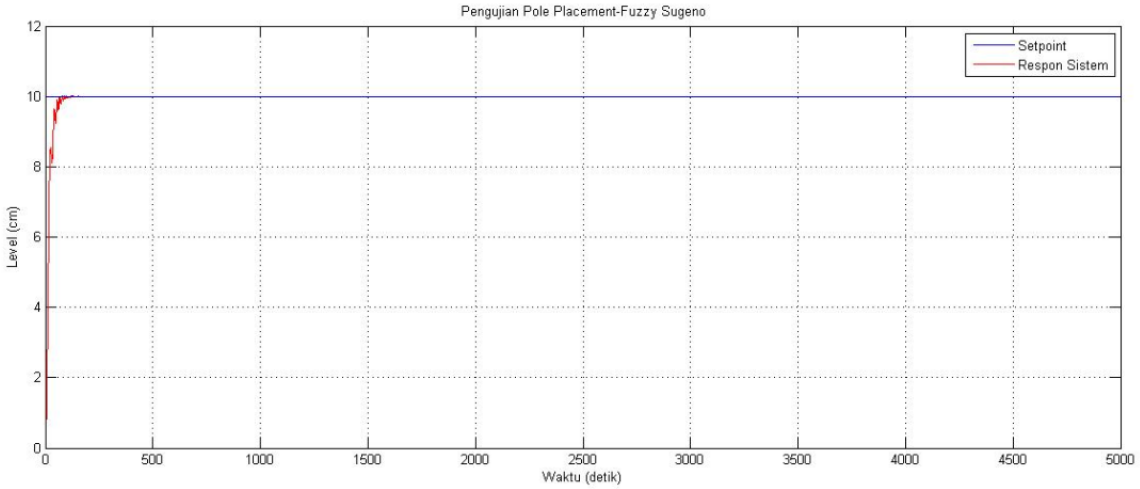
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



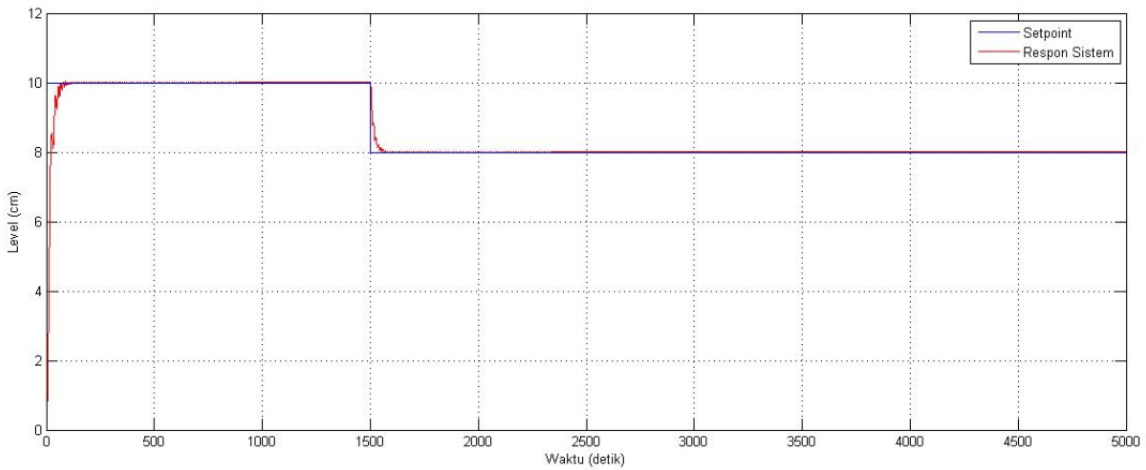
3. Respon keluaran *Coupled Tank* dengan menggunakan kendali *Pole Placement-Fuzzy*

Sugeno

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



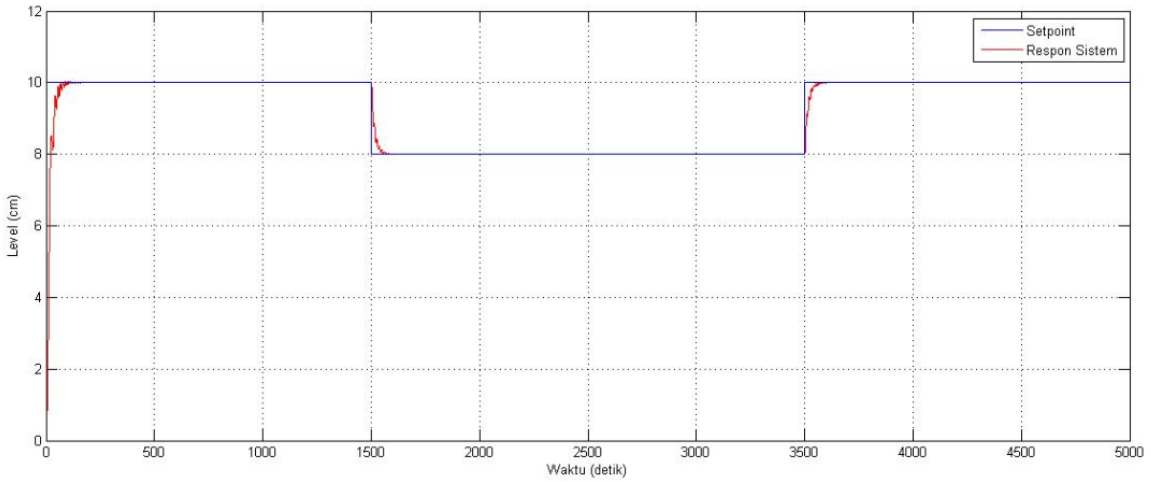
Respon keluaran kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno* pada *Coupled Tank* dengan perubahan *Setpoint* 8 cm dengan waktu 1500 detik





5. Respon keluaran kendali *Pole Placement-Fuzzy Sugeno* pada *Coupled Tank* dengan perubahan *Setpoint* 8 cm dengan waktu 1500 detik dan kembali ke *Setpoint* 10 cm dengan waktu 3500 detik

Hak Cipta ©Hak



UIN

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim



UIN SUSKA RIAU

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



DAFTAR RIWAYAT



Zana Azra lahir pada tanggal 14 Maret 1998 sebagai anak ketiga dari Imza Renaldi dan Asmaneli dengan jumlah saudara sebanyak 4 saudara. Beralamat di Jl. Aman Gg. Idola RT.006 RW.014, Kel. Pematang Pudu, Kec. Mandau, Kab. Bengkalis, Riau. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 18 Pematang Pudu dan lulus pada tahun 2010, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 15 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 Jurusan Teknik Elektro. Pada semester 4 penulis mengambil konsentrasi Elektronika Instrumentasi dan Alhamdulillah tamat 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 Pengendalian Level Pada Coupled Tank Dengan Pole Placement-Fuzzy Sugeno”**

No. HP : 081261428388

Email : zanaazra03gmail.com