



LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN KENDALI HYBIRD MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-FUZZY UNTUK MENGENDALIKAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

TUGAS AKHIR

Oleh :

FAMELIA ANDIKA PUTRA
11655103626

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Prodi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 12 Juli 2023

Ketua Program Studi

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

Pembimbing

Jufrizel, S.T., M.T.
NIP. 19740719 200604 1 001

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KENDALI *HYBIRD MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-FUZZY* UNTUK MENGENDALIKAN *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR*

TUGAS AKHIR

Oleh :

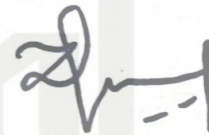
FAMELIA ANDIKA PUTRA
11655103626

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 12 Juli 2023

Pekanbaru, 12 Juli 2023

Mengesahkan,

Ketua Program Studi



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

Dr. Hartono, M.Pd.
NIP:19640301 199203 1 003

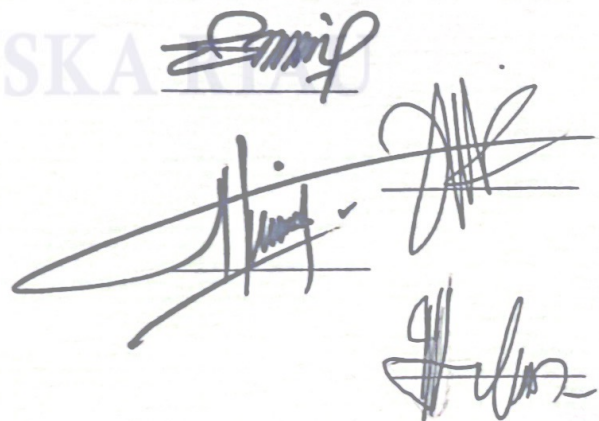
DEWAN PENGUJI :

Ketua : Sutoyo, S.T., M.T.

Sekretaris : Jufrizel, S.T., M.T.

Anggota I : Ahmad Faizal, S.T., M.T.

Anggota II : Hilman Zarory, S.T., M.Eng.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

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



Lampiran Surat :

Nomor : Nomor 25/2021

Tanggal : 10 September 2021

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : FAMELIA ANDIEA PUTRA

NIM : 11655103626

Tempat/Tgl. Lahir : DURI, 29 MEI 1997

Fakultas/Pascasarjana : SAINS DAN TEKNOLOGI

Prodi : TEKNIK ELEKTRO

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

DESAIN KENDALI HYBRID MODEL REFERENSI ADAPTIVE CONTROL (MRA)

'FUZZY UNTUK MENGENDALIKAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

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

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

Pekanbaru, 10 - Juli - 2021

buat pernyataan



FAMELIA ANDIEA PUTRA
NIM : 11655103626

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

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

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



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



LEMBAR PERNYATAAN

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

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

Pekanbaru, 12 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,

FAMELIA ANDIKA PUTRA
NIM. 11655103626

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.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Barang siapa Yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa 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 Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku 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)

/ Famelia Andika Putra |
| 12 Juli 2023 |

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



DESAIN KENDALI *HYBRID MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-FUZZY* UNTUK MENGENDALIKAN *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR*

FAMELIA ANDIKA PUTRA

11655103626

Tanggal Sidang : 12 Juli 2023

Program Studi Teknik Elektro Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang tinggi menyebabkan tidak seimbangnya antara permintaan dengan ketersediaan energi listrik sehingga terjadinya pemadaman listrik secara bergilir. Oleh karena itu, masyarakat memerlukan alternative yang bisa menghasilkan energi listrik yaitu genset. Namun genset memiliki kelemahan yaitu tegangan yang dihasilkan pada saat dinyalakan tidak stabil sehingga dapat membuat perangkat elektronik berpotensi rusak. Hal ini diperlukannya sebuah perangkat yang dapat mengendalikan tegangan yang di hasilkan generator yaitu AVR (*Automatic Voltage Regulator*). Untuk mendapatkan tegangan yang sesuai, dibutuhkan pengendali untuk mengendali tegangan agar tetap dalam keadaan normal atau stabil. Pada penelitian ini dilakukan kombinasi pengendali MRAC dan Fuzzy dalam menjaga kestabilan sistem AVR. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh respon sistem yang stabil dimana osilasi sistem teredam dan overshoot yang dihasilkan pun masih dalam batas toleransi dengan nilai *rise time* 7.791 detik dan *settling time* 8.5432 detik, *maximum overshoot* 1.9349% serta nilai *error steady state* sebesar -0.0007127 V.

Kata Kunci : MRAC, Fuzzy, AVR, Overshoot, Osilasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

Hak cipta milik UIN Suska Riau

Situs Resmi UIN Suska Riau



HYBRID CONTROL DESIGN MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL(MRAC) – FUZZY FOR CONTROLLING AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

FAMELIA ANDIKA PUTRA

Student Number : 11655103626

Date of Final Exam : July 12th, 2023

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

The community's need for high electrical energy causes an imbalance between demand and availability of electrical energy resulting in rolling blackouts. Therefore, people need an alternative that can produce electrical energy, namely generators. However, generators have the disadvantage that the voltage generated when turned on is unstable so that it can make electronic devices potentially damaged. This requires a device that can control the voltage generated by the generator, namely AVR (Automatic Voltage Regulator). To get the appropriate voltage, a controller is needed to control the voltage to remain in a normal or stable state. In this study, a combination of MRAC and Fuzzy controllers was carried out in maintaining the stability of the AVR system. Based on the results of the study, a stable system response is obtained where the system oscillations are damped and the resulting overshoot is still within the tolerance limit with a rise time value of 7.7912 seconds and a settling time of 8.5432 seconds, a maximum overshoot of 1.9349% and a steady state error of -0.0007127 V.

Key Word : MRAC, Fuzzy, AVR, Overshoot, Oscillation

- 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 Kendali Hybrid Model Reference Adaptive Control (MRAC)-FUZZY Untuk Mengendalikan Automatic Voltage Regulator”**.

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

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

1. Papa, Mama, Abang dan Adik-adik tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Dr. Hartono M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
3. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
4. Bapak Jufrizel, 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.
5. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T dan Bapak Hilman Zarory, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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

6. Ibu Rika Susanti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. KKN Desa Selat Panjang yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Instrumen 2016 serta teman-teman angkatan 2016 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 12 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,

UIN SUSKA RIAU

Famelia Andika Putra
NIM. 11655103626



- 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

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	8
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR RUMUS	viii
DAFTAR SINGKATAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1. Latar Belakang.....	I-1
1.2. Rumusan Masalah	I-3
1.3. Tujuan Penelitian.....	I-3
1.4. Batasan Masalah.....	I-4
1.5. Manfaat Penelitian.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Ter kait.....	II-1
2.2 Dasar Teori.....	II-2
2.2.1 <i>Automatic Voltage Regulator (AVR)</i>	II-2
2.2.2 <i>Model Matematika Automatic Voltage Regulator (AVR)</i>	II-2
2.3 Identifikasi Sistem.....	II-5
2.4 Sistem Kendali.....	II-7



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

2.4.1	<i>Model Reference Adaptive Control (MRAC)</i>	II-8
2.4.2	<i>MIT Rule</i>	II-8
2.4.3	Fuzzy Logic	II-10
II.1.1 2.4.4	<i>Pengendali MRAC-Fuzzy</i>	II-16
2.5	Interpolasi Linier	II-17
2.6	Matlab (Matrix Laboratory).....	II-18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		III-1
3.1	Proses Alur Penelitian	III-1
3.2	Tahapan Penelitian	III-2
3.3	Simulasi dan Verifikasi.....	III-3
3.4	Validasi Model Matematis	III-4
3.5	Perancangan Pengendali MRAC dengan Metode <i>MIT Rule</i>	III-5
3.6	Perancangan Kendali <i>Fuzzy Mamdani</i>	III-7
3.6.1.	<i>Fuzzifikasi</i>	III-7
3.6.2.	<i>Rule Base</i>	III-9
3.7.	Perancangan Pengendali MRAC- <i>Fuzzy</i>	III-11
3.8.	Hasil Data yang akan diambil.....	III-12
3.8.1	<i>Grafik Setiap Pengujian Sistem</i>	III-12
3.8.2	<i>Respon Transient Sistem dari Setiap Pengujian</i>	III-13
BAB IV HASIL DAN ANALISA		IV-1
4.1.	Gambaran Umum Pengujian.....	IV-1
4.2.	Hasil dan Analisa Simulasi Pengendalian <i>Automatic Voltage Regulator</i> yang dilakukan Secara <i>Open Loop</i>	IV-1
4.3.	Hasil Dan Analisa Simulasi Pengendalian <i>Automatic Voltage Regulator</i> Menggunakan Pengendali MRAC	IV-5



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, 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.

4.4. Hasil dan Analisa Simulasi Pengendalian <i>Automatic Voltage Regulator</i> Menggunakan Pengendali MRAC Yang Dikombinasikan Dengan Pengendali Fuzzy Dalam Meningkatkan Performansi.....	IV-11
4.5 Analisa Respon Sistem Menggunakan Pengendali MRAC-Fuzzy dengan Menguatkan Nilai Gamma.....	IV-14
4.6 Analisa Perbandingan Respon Sistem Menggunakan Pengendali MRAC Dan Pengendali MRAC-Fuzzy Dalam Mencapai Setpoint System <i>Automatic Voltage Regulator</i>	IV-19
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran.....	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Rangkaian sederhana AVR	II-2
Gambar 2.2. Model sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR) konvensional	II-4
Gambar 2.3. Blok Diagram Skema Model Reference Adaptive Control (MRAC).....	II-6
Gambar 2.4. Skema MRAC dengan Metode MIT Rule Satu Gain	II-7
Gambar 2.5. Blok Diagram Pengendali PID	II-8
Gambar 2.6. Respon waktu orde 2.....	II-10
Gambar 2.7. kurva untuk Interpolasi Linier	II-11
Gambar 2.8. Ikon Matlab	II-12
Gambar 2.9. Tampilan Model Simulink pada Matlab	II-13
Gambar 2.10. Kotak Dialog Simulink Library	II-13
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian.....	III-1
Gambar 3.2. Rangkaian AVR secara <i>Open Loop</i>	III-4
Gambar 3.3. Respon <i>Open Loop</i> sistem pada AVR	III-5
Gambar 3.4. Diagram Blok Pengendali MRAC Pada AVR.....	III-7
Gambar 3.5. Hasil Respon Pengendali MRAC Pada AVR.....	III-8
Gambar 3.6. Respon <i>Open Loop</i> sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR)	III-9
Gambar 3.7. data <i>delay time</i> 50% secara <i>open loop</i>	III-10
Gambar 3.8. Respon <i>settling time</i> 98% dengan <i>Open Loop</i>	III-11
Gambar 3.9. Respon <i>rise time</i> 5% dengan <i>Open Loop</i>	II-11
Gambar 3.10. Respon <i>rise time</i> 95% dengan <i>Open Loop</i>	II-12
Gambar 3.11. Respon pengendali MRAC sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i>	III-13
Gambar 3.12. data <i>delay time</i> 50% secara <i>open loop</i>	III-14
Gambar 3.13. Respon <i>settling time</i> 98% dengan <i>Open Loop</i>	III-14
Gambar 3.14. Respon <i>rise time</i> 5% dengan <i>Open Loop</i>	II-15
Gambar 3.15. Respon <i>rise time</i> 95% dengan <i>Open Loop</i>	II-15
Gambar 4.1 Respon <i>Open Loop</i> sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR).....	IV-2
Gambar 4.2 data <i>delay time</i> 50% secara <i>open loop</i>	IV-2
Gambar 4.3 data <i>settling time</i> 98% secara <i>open loop</i>	IV-3
Gambar 4.4 data <i>rise time</i> 5% secara <i>open loop</i>	IV-4
Gambar 4.5 data <i>rise time</i> 95% secara <i>open loop</i>	IV-4

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



Gambar 4.6 Respon pengendali MRAC pada <i>Automatic Voltage Regulator</i>	IV-6
Gambar 4.7 Data <i>delay time</i> 50% Pengendali MRAC.....	IV-8
Gambar 4.8 Data <i>settling time</i> 98% Pengendali MRAC.....	IV-8
Gambar 4.9 Data <i>rise time</i> 5% Pengendali MRAC	IV-9
Gambar 4.10 Data <i>rise time</i> 95% Pengendali MRAC	IV-10
Gambar 4.11 hasil keluaran sistem AVR menggunakan pengendali MRAC-Fuzzy.....	IV-11
Gambar 4.12 Data <i>delay time</i> 50% Pengendali MRAC-Fuzzy	IV-12
Gambar 4.13 Data <i>settling time</i> 98% Pengendali MRAC-Fuzzy	IV-12
Gambar 4.14 Data <i>rise time</i> 5% Pengendali MRAC-Fuzzy.....	IV-13
Gambar 4.15 Data <i>rise time</i> 95% Pengendali MRAC-Fuzzy.....	IV-13
Gambar 4.16 Pengendali MRAC-Fuzzy dengan Gamma 0.000001.....	IV-16
Gambar 4.17 Data <i>delay time</i> 50% Pengendali MRAC-Fuzzy	IV-17
Gambar 4.18 Data <i>settling time</i> 98% Pengendali MRAC-Fuzzy	IV-17
Gambar 4.19 Data <i>rise time</i> 5% Pengendali MRAC-Fuzzy.....	IV-18
Gambar 4.20 Data <i>rise time</i> 95% Pengendali MRAC-Fuzzy.....	IV-18

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



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. spesifikasi sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR)	II-5
Tabel 3.1. spesifikasi sistem <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR)	III-3
Tabel 3.2. Proses Penentuan Nilai <i>Gamma</i>	III-7
Tabel 3.3. Respon waktu sistem secara <i>open loop</i>	III-13
Tabel 3.4. Respon waktu sistem dengan pengendali MRAC	III-16
Tabel 4.1 respon waktu sistem secara <i>open loop</i>	IV-5
Tabel 4.2 Proses Penentuan Nilai <i>Gamma</i> Pengendali MRAC.....	IV-6
Tabel 4.3 Respon waktu sistem dengan pengendali MRAC	IV-10
Tabel 4.4 Respon waktu sistem dengan pengendali MRAC-Fuzzy	IV-14
Tabel 4.5 Proses Penentuan Nilai <i>Gamma</i> Pengendali MRAC-Fuzzy	IV-15
Tabel 4.6 Respon waktu sistem dengan pengendali MRAC-Fuzzy	IV-19
Tabel 4.7 Analisa Perbandingan	IV-19

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 RUMUS

	Halaman
Rumus 2.1. Model Matematika <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR).....	II-2
Rumus 2.2. Pengendali <i>Model Reference Adaptive Control</i> (MRAC).....	II-5
Rumus 2.3. <i>MIT Rule</i>	II-6
Rumus 2.4. <i>Maximum Overshoot</i>	II-10
Rumus 2.5. Interpolasi Linier	II-11



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



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
Dilarang Mengutip atau Menyalin Sebagian atau Seluruhnya
Tanpa Izin dan Pengakuan Penulis

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

DAFTAR SINGKATAN

- = *Direct Current*
- = *Automatic Voltage Regulator*
- = *Model Reference Adaptive Control*
- = *Delay Time*
- = *Rise Time*
- = *Settling Time*
- = *Matrix Laboratory*
- = *Maximum overshoot*
- = *Proportional*
- = *integrative*
- = *Derivative*



BAB I PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Pada zaman saat ini perkembangan teknologi yang begitu pesat terutama dalam penggunaan tenaga listrik. Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang penting sebagai sumber utama di berbagai kegiatan sehari-hari [1]. Di Indonesia pertumbuhan dan perkembangan masyarakat tumbuh seiringan zaman, oleh karena itu kebutuhan akan tenaga listrik semakin meningkat setiap tahunnya. Di Indonesia jumlah kebutuhan listrik mencapai 232.296 TWh pada tahun 2018 dan tumbuh setiap tahunnya 5.1% [2]. Kelompok pengguna energi listrik dari PLN adalah kelompok rumah tangga, industri rumahan, industri skala kecil maupun industri skala besar. Kebutuhan energi listrik digunakan untuk penerangan, pendingin ataupun pemanas ruangan, televisi, kulkas dan peralatan lain yang berpotensi mempengaruhi permintaan energi listrik.

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang tinggi dikarenakan aktivitas masyarakat yang menggunakan energi listrik. Hal ini menyebabkan tidak seimbang antara permintaan dengan ketersediaan energi listrik sehingga terjadinya pemadaman listrik secara bergilir. Dengan pemadaman listrik menyebabkan terganggunya aktivitas masyarakat. Pada tahun 2022 terjadinya pemadaman sebesar 12.7 jam sehingga menimbulkan kerugian bagi masyarakat dalam golongan rumah tangga, industri kecil dan industri rumah tangga atau UMKM [3] [2]. Oleh karena itu, masyarakat memerlukan alternatif yang bisa menghasilkan energi listrik yaitu genset, karena harga yang ekonomis dan dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menanggulangi pemadaman listrik [4].

Genset atau generator set merupakan sebuah perangkat pembangkit listrik. Pada genset ini memiliki kelemahan yaitu tegangan yang dihasilkan pada saat dinyalakan tidak stabil sehingga dapat membuat perangkat elektronik berpotensi rusak [5]. Hal ini diperlukannya sebuah perangkat yang dapat mengendalikan tegangan yang di hasilkan generator yaitu AVR (*Automatic Voltage Regulator*) [6].

AVR adalah suatu perangkat yang dipasang pada generator yang bekerja secara otomatis mengatur tegangan yang dihasilkan agar tetap stabil. Prinsip kerja dari AVR mengatur tegangan output yang melebihi kondisi normal maka mengurangi tegangan dan

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 - 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.

berlaku sebaliknya [6]. Untuk mendapatkan tegangan yang sesuai, dibutuhkan pengendali untuk mengendalikan tegangan agar tetap dalam keadaan normal atau stabil.

Adapun penelitian tentang *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan kombinasi fuzzy-PID. Metode yang digunakan untuk menentukan nilai PID yaitu metode *harmony search alrgortihm*. Pengendali *hybrid* fuzzy-PID menghasilkan respon keluaran yaitu *rise time* 0.0046658 detik, *settling time* 11.6631 detik. Dan memiliki *error steady state* 0.6444 [7].

Penelitian lain yang membahas *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan pengendali PID dan logika fuzzy. Pengendali PID menggunakan metode tyreus-luyben dalam penentuan nilai Kp, Ki, dan Kd. Kendali PID dengan metode tyreus-luyben menghasilkan respon keluaran yaitu *rise time* 0.21 detik, *time peak* 1.42 detik, *settling time* 1.88 detik dan memiliki *overshoot* sebesar 7.78%. pada kendali fuzzy menghasilkan *rise time* 2.47 detik, *time peak* 20.0 detik, *settling time* 4.52 detik, dan tidak memiliki *overshoot* [8].

Penelitian lain yang membahas *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan menggunakan pengendali LQR. Pada penelitian ini menggunakan metode LTR pada pengendali LQR. Hasil respon keluaran LQR tanpa LTR yaitu *rise time* 0.2534 detik, *settling time* 19.0812 detik dan memiliki *overshoot* sebesar 82.7892%. pengendali LQR dengan LTR menghasilkan respon keluaran *rise time* 0.3166 detik, *settling time* 0.8866 detik dan tidak memiliki *overshoot* [9].

Berdasarkan studi literatur dan hasil simulasi secara *open loop*, *Automatic Voltage Regulator* (AVR) belum mencapai *setpoint* yang diharapkan. Studi pustaka mengenai pengendali belum menunjukkan hasil yang memuaskan, karena masih terdapat efek *chattering*. Oleh sebab itu, dipilih pengendali *model reference adaptive control* (MRAC). Dimana pengendali ini memiliki kelebihan mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan sehingga *overshoot* dapat dikurangi dan performa keluaran sistem dapat mengikuti performa keluaran model referensi yang sudah ditentukan [10]. Namun, berdasarkan hasil uji simulasi pra penelitian yang dilakukan pada pengendali MRAC untuk pengendalian *Automatic Voltage Regulator* belum didapatkan hasil yang maksimal. Karena berdasarkan hasil uji pra simulasi, sistem mampu mengikuti model referensi yang sudah ditentukan namun, masih terdapat osilasi pada sistem ketika mencapai *setpoint*. Oleh karena itu, pada penelitian ini pengendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) akan dikombinasikan dengan pengendali *Fuzzy*.

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

Pengendali *fuzzy* berperan untuk mengatasi kelemahan pada pengendali MRAC yang masi terdapat *overshoot*. Pengendali *fuzzy* memiliki beberapa metode yang paling banyak digunakan yaitu metode sugeno dan mamdani. Metode sugeno biasanya digunakan untuk kondisi yang tidak terdapat pakar, tetapi nilai matematis pada *plant* yang dirancang diketahui, sedangkan metode mamdani kebalikan dari metode sugeno, tetapi terdapat pakar yang mempengaruhi sistem [11]. Pada penelitian ini akan menggunakan metode kendali mamdani, logika *fuzzy* mamdani merupakan salah satu metode yang sangat fleksibel dan memiliki toleransi pada data yang ada. Kelebihan dari metode ini adalah terdapat peran seorang pakar dimana dengan melihat keluaran sistem dan variasi parameter, dapat dilakukan penyesuaian sistem masukan untuk mendapatkan *output* yang tepat [12]. Seorang perancang sistem kendali *fuzzy* dapat men-*tuning* parameter *fuzzy control* tersebut dengan cara *try and error* yaitu mengatur (*adjust*) *membership function* (*range e-max* dan *de-max*) serta *rules-rules* yang ada untuk mendapatkan *output* yang tepat.

Berdasarkan studi literatur yang telah di lakukan. Penulis akan mengkombinasikan pengendali MRAC-Fuzzy dalam menjaga kestabilan pada sistem *Automatic Voltage Regulator*. Maka penulis akan mengajukan judul Tugas Akhir yaitu “**DESAIN KENDALI HYBRID MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-FUZZY UNTUK MENGENDALIKAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR**”

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh pengendali MRAC untuk sistem *Automatic Voltage Regulator*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan pengendali Fuzzy pada pengendali MRAC untuk menjaga *Automatic Voltage Regulator* dalam keadaan stabil?
3. Bagaimana performansi pengendali MRAC setelah ditambahkan Fuzzy pada sistem *Automatic Voltage Regulator*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendesain pengendali MRAC
2. Merancang pengendali MRAC yang ditambahkan dengan Fuzzy
3. Mengetahui hasil performansi ketika ditambahkan pengendali Fuzzy pada MRAC pada sistem *Automatic Voltage Regulator*



1.4. Batasan Masalah

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

Pada penelitian ini, penulis membuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Pemodelan sistem *Automatic Voltage Regulator* yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya.
2. Tidak membahas *hardware* pada *Automatic Voltage Regulator*
3. Simulasi MRAC menggunakan MRAC satu *gain*
4. Aplikasi yang digunakan untuk simulasi menggunakan MATLAB

1.5. Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan rancangan sistem kendali MRAC- Fuzzy untuk mengendalikan *Automatic Voltage Regulator*
2. Meningkatkan perfomasi pada *Automatic Voltage Regulator* yang kemudian bisa diterapkan pada sistem yang sebenarnya.
3. Dapat dijadikan acuan untuk melanjutkan dan mengembangkan sistem *Automatic Voltage Regulator* dengan menggunakan pengendali lainnya untuk penelitian-penelitian berikutnya

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

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas akhir perlu dilakukannya studi literatur yang merupakan pencarian teori-teori dan referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan. Teori dan referensi ini didapatkan melalui jurnal, paper, buku dan sumber lainnya.

Adapun penelitian tentang *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan pengendali PID dan logika fuzzy. Pengendali PID menggunakan metode tyreus-luyben dalam penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d . Kendali PID dengan metode tyreus-luyben menghasilkan respon keluaran yaitu *rise time* 0.21 detik, *time peak* 1.42 detik, *settling time* 1.88 detik dan memiliki *overshoot* sebesar 7.78%. pada kendali fuzzy menghasilkan *rise time* 2.47 detik, *time peak* 20.0 detik, *settling time* 4.52 detik, dan tidak memiliki *overshoot* [8].

Penelitian lain yang membahas *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan menggunakan pengendali LQR. Pada penelitian ini menggunakan metode LTR pada pengendali LQR. Hasil respon keluaran LQR tanpa LTR yaitu *rise time* 0.2534 detik, *settling time* 19.0812 detik dan memiliki *overshoot* sebesar 82.7892%. pengendali LQR dengan LTR menghasilkan respon keluaran *rise time* 0.3166 detik, *settling time* 0.8866 detik dan tidak memiliki *overshoot* [9].

Penelitian lain yang membahas *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan kombinasi fuzzy-PID. Metode yang digunakan untuk menentukan nilai PID yaitu metode *harmony search algorithm*. Pengendali *hybrid* fuzzy-PID menghasilkan respon keluaran yaitu *rise time* 0.0046658 detik, *settling time* 11.6631 detik. Dan memiliki *error steady state* 0.6444 [7].

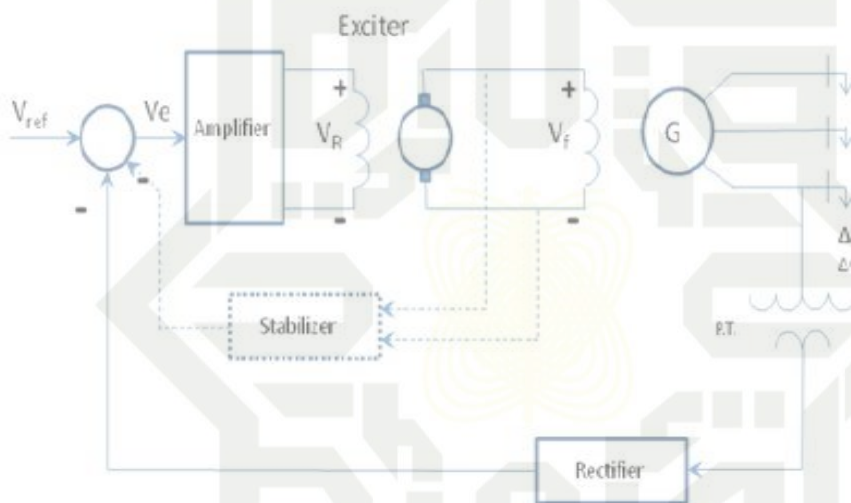
Berdasarkan pada hasil dari penelitian diatas yang telah dilakukan sebelumnya, dan hasil uji simulasi pra penelitian yang dilakukan pada pengendali MRAC didapatkan adanya osilasi dan *overshoot* pada sistem. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian dengan penambahan Fuzzy agar dapat mengatasi osilasi dan *overshoot* pada sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR).

2. Di larang 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.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah suatu perangkat yang dipasang pada generator yang dapat bekerja secara otomatis mengatur tegangan yang dihasilkan oleh generator agar tetap stabil. Fungsi dari AVR ini untuk mempertahankan nilai tegangan keluaran generator sinkron pada tingkat tertentu. Fungsi lain AVR berkaitan dengan aksi kontrol regulasi daya reaktif dan pengaturan osilasi rotor jika terjadi gangguan [8].



Gambar 2.1 Rangkaian sederhana AVR

2.2.2 Model Matematika Automatic Voltage Regulator (AVR)

1. Model Amplifier

Dalam sistem eksitasi, *amplifier* dapat berupa *magnetic amplifier*, *rotating amplifier*. *Model amplifier* direpresentasikan dalam bentuk sistem orde satu dengan sebuah faktor penguatan dan konstanta waktu [13]. Fungsi alih *amplifier* yaitu [14] :

$$\frac{V_R(s)}{V_E(s)} = \frac{K_A}{1 + \tau_A s} \tag{2.1}$$

Nilai K_A memiliki rentang dari 10-400, sedangkan untuk konstanta waktu *amplifier* τ_A memiliki nilai yang sangat kecil yaitu 0.02 s – 0.1 s [15].

2. Model Eksiter

Eksitasi yang digunakan adalah sumber dari keluaran generator utama yang kemudian diubah dengan menggunakan rangkaian *rectifier*. Tegangan keluaran sistem *exciter* adalah *non-linear* dan merupakan fungsi dari tegangan medan magnet



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

② disebabkan saturasi inti magnet, sehingga dapat dikatakan hubungan antara tegangan terminal dan tegangan *exciter* adalah kompleks. Untuk fungsi alih dari model eksiter adalah :

$$\frac{V_F(s)}{V_R(s)} = \frac{K_E}{1+\tau_E s} \tag{2.2}$$

Nilai K_E memiliki rentang dari 1-400, sedangkan untuk konstanta waktu amplifier τ_E memiliki nilai yaitu 0.1 s – 1 s

3. Model Generator

Emf yang dibangkitkan oleh generator sinkron merupakan fungsi dari poses magnetisasi, sedangkan tegangan terminal tergantung dari beban. Untuk model *linier* sebuah generator dapat didekati dengan sebuah sistem orde satu, dimana memiliki faktir penguatan dan konstanta waktu. Model generator dinyatakan pada persamaan :

$$\frac{V_R(s)}{V_E(s)} = \frac{K_G}{1+\tau_G s} \tag{2.3}$$

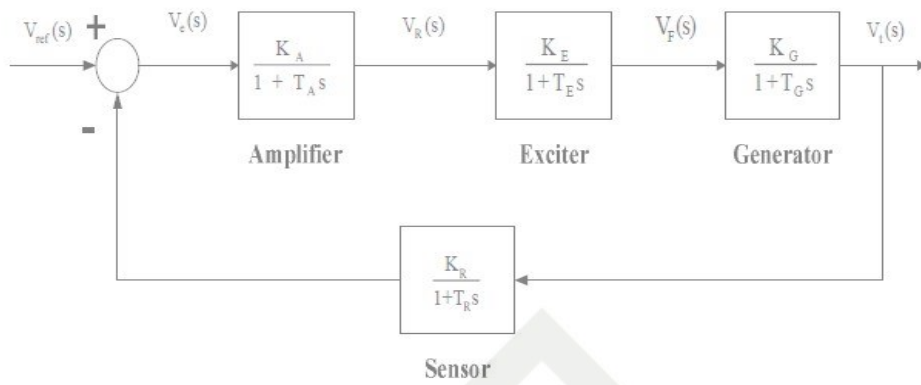
Nilai K_G tergantung dari beban dan memiliki nilai dari 0.7-1.0, sedangkan untuk konstanta waktu amplifier τ_G memiliki nilai yang sangat kecil yaitu 1.0s – 2.0s

4. Model Sensor

Tegangan terminal generator disensor menggunakan sebuah trafo tegangan, dan kemudian disearahkan melalui penyearah jembatan. Sensor ini dimodelkan dalam sistem orde satu yaitu :

$$\frac{V_S(s)}{V_t(s)} = \frac{K_R}{1+\tau_R s} \tag{2.4}$$

Dan dari pemodelan untuk masing-masing parameter diatas dapat disusun menjadi mode sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dalam bentuk blok diagram yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.2 Model sistem *Automatic Voltage Regulator (AVR)* konvensional [16]

Dari gambar 2.2 diatas dapat dituliskan persamaan fungsi alih lingkaran tertutup yang menghubungkan tegangan terminal (V_t) dan tegangan referensi (V_{ref}) yang dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{K_A K_E K_G K_R (1 + T_R S)}{(1 + T_A S)(1 + T_E S)(1 + T_G S)(1 + T_R S) + K_A K_E K_G K_R} \quad (2.5)$$

Untuk sebuah masukan (step) $V_{ref}(s) = \frac{1}{s}$, penggunaan teori nilai akhir, menghasilkan respon kondisi stabil [14] :

$$V_{t_{ss}} = \lim_{s \rightarrow 0} s V_t(s) = \frac{K_A}{1 + K_A} \quad (2.6)$$

Sehingga fungsi alih pada persamaan 2.5 dapat disederhanakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} &= \frac{K_A K_E K_G K_R (1 + T_R S)}{(1 + T_A S)(1 + T_E S)(1 + T_G S)(1 + T_R S) + K_A K_E K_G K_R} \\ \frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} &= \frac{K_A K_E K_G K_R (1 + T_R S)}{(1 + T_A S)(1 + T_E S)(1 + T_G S)(1 + T_R S) + K_A K_E K_G K_R} \\ \frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} &= \frac{K_A}{(1 + T_A S)(1 + T_E S)(1 + T_G S)} \end{aligned} \quad (2.7)$$

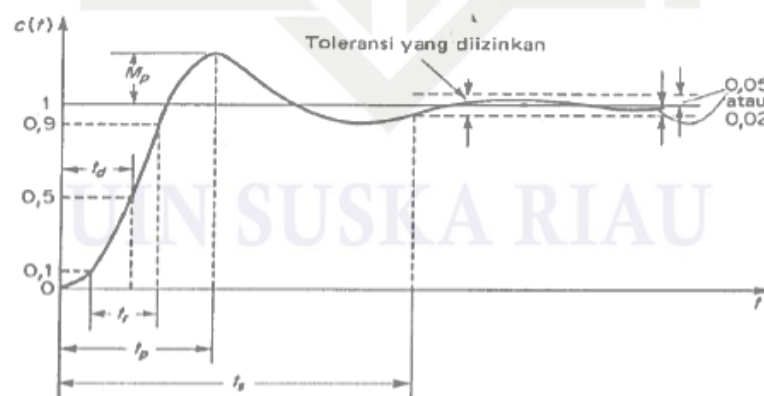
Tabel 2.1 spesifikasi sistem *Automatic Voltage Regulator (AVR)* [9]

No.	Parameter		Spesifikasi
1.	Ka	Amplifier	10.00

1.	Ta	Konstanta waktu Amplifier	0.100
2.	Ke	Exciter	1.000
3.	Te	Konstanta waktu Exciter	0.400
4.	Kg	Generator	1.000
5.	Tg	Konstanta waktu Generator	1.000
6.	Kr	Sensor	1.000

2.3 Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem yang mengacu pada *respons transient* sistem dalam kondisi *open loop*. Metode ini didasarkan pada pengamatan grafis dari langkah input untuk mengidentifikasi sistem. Sistem yang digunakan pada pengendalian temperatur *Automatic Voltage Regulator* merupakan sistem orde 2 seperti yang terlihat pada gambar berikut [25]:



Gambar 2.4 Respon Sistem Orde Dua [26]

Respon transien adalah respon sistem yang diamati dari saat/ mulai terjadinya perubahan sinyal *input* / gangguan / beban sampai pada respon suatu sistem masuk dalam keadaan *steady state*. Tolak ukur yang digunakan untuk menggolongkan karakteristik tanggapan transien pada suatu sistem kendali secara umum dikelompokkan sebagai berikut ini [27]:

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

1) Waktu Tunda (*delay time*)

Waktu tunda adalah waktu yang menyatakan keterlambatan respon *output* terhadap *input* diukur dari $t=0$ sampai respon mencapai 50%.

2) Waktu Naik (*rise time*)

Waktu naik adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik mulai dari 10% sampai 90%, 5% sampai 95% atau 0% sampai 100%

3) Waktu Puncak

Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon mulai $t=0$ hingga mencapai puncak pertama kali.

4) *Overshoot* Maksimum (M_p)

Overshoot maksimum adalah nilai relatif yang menyatakan perbandingan harga/nilai maksimum respon suatu sistem yang melampaui harga *steady state*. Jika nilai akhir keadaan tunak tanggapannya jauh dari satu, digunakan persen *overshoot* maksimum yang didefinisikan sebagai berikut :

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} 100\%$$

(2.14)

5) Waktu Tunak (*settling time*)

Settling time adalah indikator waktu yang menyatakan respon suatu sistem telah masuk 5% atau 2% atau 0,5% dari respon *steady state*.

Dalam perancangan sistem kontrol, karakteristik kinerja yang diinginkan oleh sistem tersebut harus dispesifikasikan dalam bentuk domain waktu. Pada umumnya, spesifikasi ini diberikan untuk tanggapan fungsi unit-step yang dianggap bisa mewakili kinerja sistem secara keseluruhan. Ada nilai rasio redaman (ζ) yang bervariasi dengan kasus-kasus yang berbeda, yaitu :

- a. Untuk nilai $\zeta : 0 < \zeta < 1$, tanggapan sistem yang dihasilkan disebut tanggapan redaman kurang (*underdamped*).
- b. Untuk nilai $\zeta = 1$, tanggapan sistem yang dihasilkan disebut tanggapan redaman kritis (*criticallydamped*).
- c. Untuk nilai $\zeta > 1$, tanggapan sistem yang dihasilkan disebut tanggapan redaman lebih (*overdamped*).

2.4 Sistem Kendali

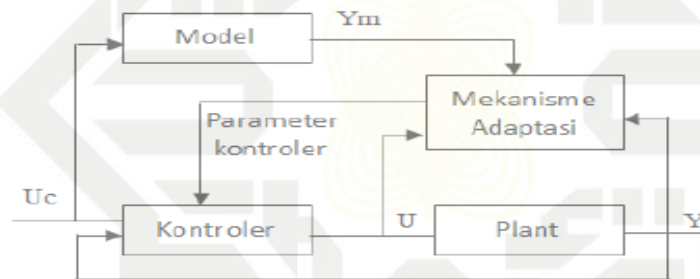
Sistem kendali merupakan proses pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (parameter), sehingga berada pada suatu kondisi tertentu yang akan menjadi acuan. Parameter yang menjadi mempengaruhi kerja sistem kendali diantaranya pengukuran, perbandingan, perhitungan dan perbaikan [28]. Secara umum, sistem kendali dapat dilihat sebagai hubungan antara berbagai komponen: kelistrikan, mekanis, hidrolik, sosial, biologis dan parameter. tujuannya adalah untuk mendapatkan fungsi yang dibutuhkan secara efisien dan akurat. Karena kemajuan dalam teori dan penerapan kontrol otomatis memberikan kinerja terbaik untuk sistem dinamis, meningkatkan produktivitas, dan menyederhanakan operasi manual yang sering diulang, banyak ilmuwan saat ini mempunyai pengetahuan yang baik terkait kontrol otomatis. [29]. Istilah dasar sistem kendali sebagai berikut:

1. Variabel terkendali dan variabel termanipulasi. Variabel terkendali merupakan variabel yang dibuat sama disetiap media percobaan dan dikendalikan. Variabel terkontrol merupakan variable yang dapat mempengaruhi dan dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara kejadian yang diamati.
2. *Plant* didefinisikan sebagai bagian dari sebuah instrumen berupa kumpulan beberapa komponen mesin yang saling bekerja sama untuk menghasilkan fungsi tertentu.
3. Proses adalah prosedur dan mekanisme yang dikendalikan. Sama seperti *plant*. Pengendalian sistem pemisahan cairan kimia, distilasi merupakan contoh sistem kontrol yang bekerja dalam suatu proses.
4. Sistem adalah kumpulan dari beberapa komponen yang berkolaborasi dan saling berhubungan untuk mencapai tujuan tertentu.
5. Gangguan (*disturbance*) merupakan kondisi atau keadaan yang berada disekitar sistem yang dapat mengurangi atau mempengaruhi performa dari suatu sistem. gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri disebut *internal disturbance* sedangkan, gangguan yang berasal dari luar disebut *eksternal disturbance* dapat berupa perubahan iklim dan perilaku lingkungan sekitar sistem.
6. Kendali umpan balik, gangguan pada sistem membuat perbedaan antara output dan input referensi tidak dapat atau sulit diprediksi, akibatnya tujuan pengendalian suatu sistem tidak tercapai. Oleh karena itu, umpan balik *output* perlu dibandingkan

© dengan *input* referensi agar perbedaannya dapat dikontrol dan diminimalkan secara otomatis [29].

4.1 Model Reference Adaptive Control (MRAC)

Model Reference Adaptive Control (MRAC) merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi keluaran sistem (proses) mengikuti performansi keluaran model referensinya dan parameter-parameter pengendali dapat diatur melalui mekanisme pengaturan yang didasarkan pada *error* yang merupakan selisih antara keluaran *plant* dengan keluaran model referensi. Pengendali adaptif mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan nya untuk dapat menjaga kestabilan sistem [10]. Blok diagram skema *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Blok Diagram Skema *Model Reference Adaptive Control* (MRAC)

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa blok MRAC memiliki dua keadaan, pertama adalah keadaan *loop* umpan balik (*inner loop*) normal antara *output* proses dengan pengendali sedangkan *loop* kedua adalah *loop* yang digunakan untuk melakukan mekanisme pengaturan parameter pengendali (*outer loop*). Pada *loop* kedua ini dilakukan proses untuk *update* parameter – parameter pengendali maupun parameter *plant* sesuai dengan skema adaptif yang digunakan. Sehingga keluaran sistem (*y*) sesuai dengan keluaran model referensinya (*y_m*). Mekanisme pengaturan pada MRAC terhadap parameternya dapat dilakukan dengan metode *MIT Rule* [10].

2.4.2 MIT Rule

MIT Rule adalah salah satu metode yang dipakai pada MRAC selain metode kestabilan lyapunov. Metode *MIT Rule* dipilih karena persamaan matematis yang sedikit dan tidak terlalu rumit. Berikut ini akan dijabarkan metode *MIT Rule* pada sistem *loop* tertutup yang mana pengendalinya memiliki sebuah parameter yang dapat diatur berupa θ . Respon sistem *loop* tertutup ditentukan oleh model yang keluarannya dinotasikan y_m ,



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

proses dinotasikan sebagai y . *Error* merupakan selisih antara keluaran y dari sistem tertutup dan keluaran dari model y_m . *Error* dinotasikan sebagai e . Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan fungsi kerugian (*The loss function, $J(\theta)$*) [17]:

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2 \tag{2.8}$$

Agar J kecil dilakukan perubahan parameter pada gradien negatif dari J :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \tag{2.9}$$

Persamaan di atas disebut aturan MIT (*MIT Rule*). Turunan parsial $\frac{d\theta}{dt}$ disebut sebagai turunan kepekaan (*sensitivity derivative*) sistem yang menunjukkan bagaimana *error* dipengaruhi oleh parameter yang dapat diukur (*adjustable parameters*). Jika diasumsikan parameter berubah lebih lambat dari variabel lain dari sistem, $\frac{d\theta}{dt}$ diasumsikan konstan [18].

Untuk penggunaan satu *gain* nilai *error* didefinisikan sebagai berikut :

$$e = y - y_m = kGU - k_0GU_c = kG\theta U_c - k_0GU_c \tag{2.10}$$

dengan menurunkan *error* terhadap θ , maka didapatkan

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = kGU_c = k * \frac{y_m}{k_0} = \frac{k}{k_0} y_m \tag{2.11}$$

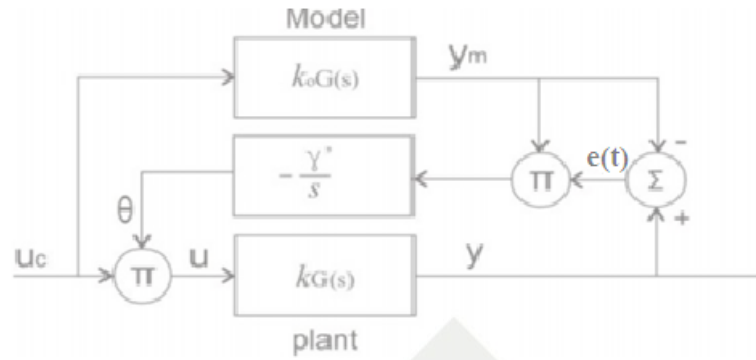
Terakhir *MIT Rule* diterapkan untuk *update* parameter θ sebagai berikut

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma' y_m e \tag{2.12}$$

$$\theta = \int (-\gamma' y_m e) dt \tag{2.13}$$

Dengan $-\gamma'$ adalah $-\gamma \frac{k}{k_0}$, sehingga perancangan sistem akhirnya menjadi seperti pada gambar berikut.

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



Gambar 2.4 Skema MRAC dengan Metode MIT Rule Satu Gain

Karena respon sistem pada penelitian ini merupakan sistem orde dua maka untuk membuat model referensi menggunakan karakteristik orde dua dengan mengikuti persamaan berikut [17]:

$$G_m(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.14)$$

Besarnya nilai ζ dapat mempengaruhi respons model referensi. Nilai $\zeta < 1$ respons akan Underdamp, $\zeta = 1$ respons akan Criticdamp, dan $\zeta > 1$ respons akan Overdamp.

Nilai dari ω_n dipengaruhi oleh nilai t_s . Dalam pembuatan model nilai t_s bisa ditentukan sendiri sesuai keinginan pada waktu berapa respons model mencapai daerah stabil. Daerah stabil terbagi dua yaitu daerah 2% dan 5% .

Daerah 2% mengikuti persamaan

$$t_s = \frac{4}{\omega_n \zeta} \quad (2.15)$$

Daerah 5% mengikuti persamaan

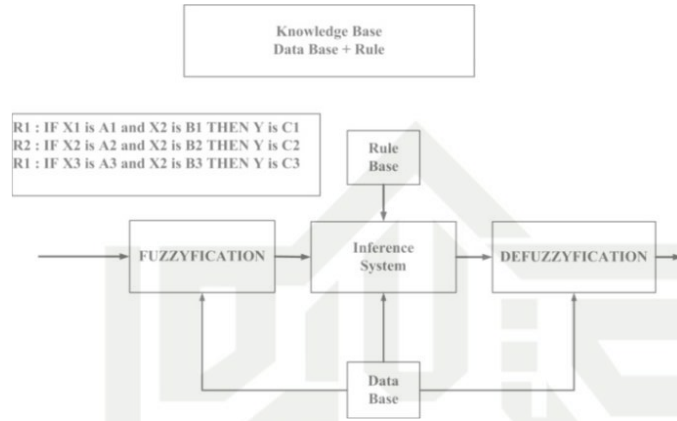
$$t_s = \frac{3}{\omega_n \zeta} \quad (2.16)$$

2.4.3 Fuzzy Logic

Logika atau disebut juga dengan dasar pemikiran. Logika klasik pada umumnya berkaitan dengan proposisi yang mempunyai dua kemungkinan yaitu bisa berlogika 1 (benar) atau berlogika 0. Proposisi adalah kalimat yang dinyatakan dalam suatu bahasa dan dapat diekspresikan [19]. Fuzzy Logic adalah sebuah pemikiran yang tidak jelas atau samar. Istilah Fuzzy digunakan untuk membedakan satu himpunan dengan himpunan lainnya yang berdasarkan dengan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas. Sistem Fuzzy adalah sistem yang menggunakan bentuk nilai fuzzy dan logika Fuzzy

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.

Halaman pengaplikasiannya. Dalam proses untuk membangun sebuah sistem Fuzzy maka sebuah sistem Fuzzy memiliki bagian-bagian yaitu fuzzifikasi, mesin *interface*, *Rule base* fuzzy, dan defuzzifikasi.



Gambar 2.9. Tahap perancangan sistem Fuzzy [20]

2.4.3.1 Himpunan Fuzzy

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

Himpunan fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu:

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

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

1. Variabel Fuzzy, Variabel Fuzzy adalah variabel yang akan dibahas dalam sistem Fuzzy seperti : kecepatan, tegangan, dan temperatur
2. Himpunan Fuzzy, Himpunan Fuzzy merupakan himpunan yang menyatakan keadaan dan kondisi dalam suatu sistem Fuzzy.



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. Semesta Pembicaraan, Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang dibolehkan dalam sistem Fuzzy dengan kata semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat bernilai positif maupun negatif
4. Domain, Domain himpunan Fuzzy adalah keseluruhan nilai yang dibolehkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan Fuzzy [21]. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain juga bisa bernilai positif maupun negatif
5. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*), Fungsi Keanggotaan adalah kurva yang menunjukkan pemetaan pada titik-titik *input* yang telah ditentukan kenilai keanggotaan yang mana telah ditentukan *rangeny*a [21]. Fungsi keanggotaan bisa berupa segitiga, trapesium, dll

2.4.3.2 Fuzzifikasi

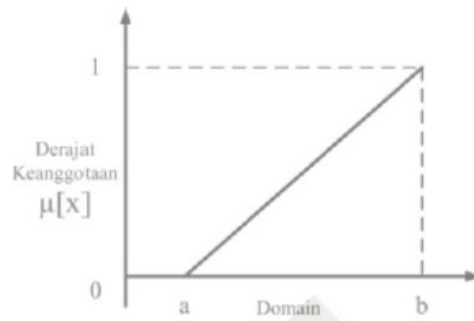
Fuzzifikasi yaitu suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi Fuzzy (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. fuzzifikasi merupakan pemetaan dari ruang *input* ke himpunan Fuzzy yang didefinisikan pada semesta pembicaraan variabel *input* [19]. Berikut himpunan Fuzzy yang sering digunakan pada proses fuzzifikasi sebagai berikut:

1. Representasi Linier naik, Pada himpunan ini kenaikan himpunan Fuzzy dimulai nilai domain pada derajat keanggotaan terendah atau 0 bergerak naik ke kanan menuju ke nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi [21].

$$u_f(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0; x \leq a \\ \frac{(x-a)}{b-a} \quad a \leq x \leq b \\ 1; x \geq b \end{array} \right. \quad (14)$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

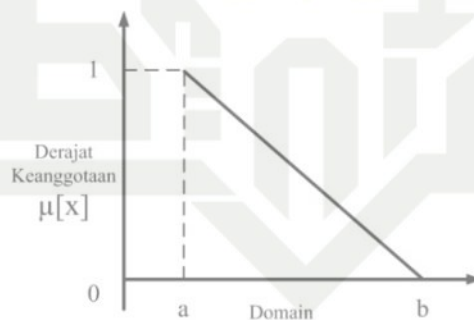
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Gambar 2.10. Representasi Linear Naik [20]

2. Representasi Linear Turun, pada himpunan ini dimulai dari nilai domain derajat keanggotaan yang tinggi dari kiri turun secara garis lurus menurun ke nilai domain derajat keanggotaan yang lebih rendah [21].

$$u_f(x) = \begin{cases} \frac{(b-x)}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (15)$$

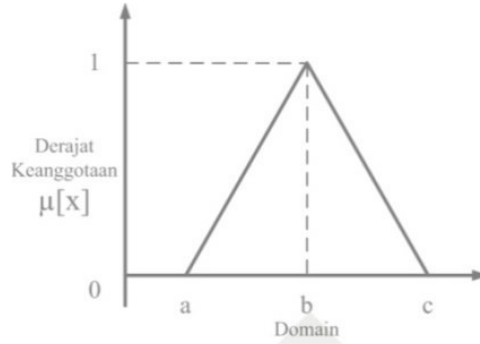


Gambar 2.11. Representasi Linear Turun [20]

3. Representasi Segitiga, Representasi segitiga adalah penggabungan antara dua garis linear [21], kurva segitiga dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } x > c \end{cases} \quad (15)$$

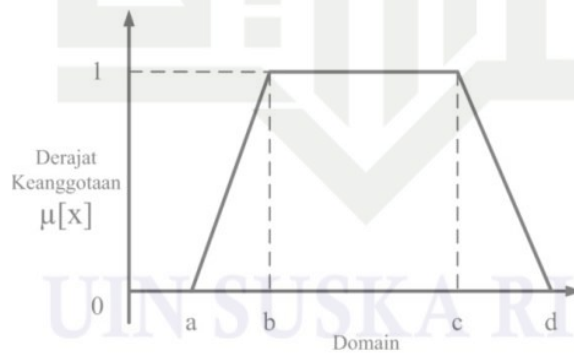
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Gambar 2.11. Representasi Segitiga [20]

4. Representasi Trapesium, hampir sama dengan kurva segitiga tapi yang membedakan di beberapa titik nilai keanggotaanya 1 [21].

$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ 1, & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{for } x > d \end{cases} \quad (17)$$



Gambar 2.12. Representasi Trapesium [20]

2.4.3.3 Aturan Fuzzy

Aturan kendali Fuzzy dinyatakan dengan kumpulan aturan *if-then* yang mana anteseden dan konsekuennya berupa variabel linguistik. Kumpulan aturan kendali Fuzzy tersebut merupakan relasi input-output dari sebuah sistem [19]. Ada tiga metode yang digunakan untuk inferensi sistem Fuzzy:

1. Metode *Max (Maximum)*

Metode *Max* solusi himpunan Fuzzy didapatkan dengan cara nilai tertinggi dari aturan fuzzy, kemudian nilai tertinggi tersebut digunakan kembali untuk memodifikasi daerah Fuzzy, dan dilakukan aplikasi menggunakan operator OR ke *output* sistem, maka *output* akan berisi suatu himpunan Fuzzy yang merefleksikan kontribusi setiap posisi [21].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \max(u_{sf}(x), u_{sk}(x)) \quad (18)$$

2. Metode Additive (*Sum*)

Pada metode *sum* untuk mendapatkan himpunan Fuzzy dengan melakukan *bounded-sum* kesemua daerah Fuzzy [21].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \min(1, u_{sf}(x) + u_{kf}(x)) \quad (19)$$

3. Metode Probalistik OR (Probor)

Metode Probor untuk mendapatkan nilai himpunan Fuzzy dengan melakukan *product* kesemua daerah Fuzzy [21].

$$u_{sf}(x) \leftarrow [u_{sf}(x) + u_{kf}(x)] - [u_{sf}(x)(u_{kf}(x))] \quad (20)$$

2.4.3.4 Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani

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

1. Tentukan derajat kesepadanan antara himpunan Fuzzy dan data masukan Fuzzy untuk setiap variabel *input* dari setiap aturan Fuzzy, Hal ini sering dilakukan dengan menggunakan derajat kemiripan [22].
2. Hitung penyulutan untuk semua aturan yang dibuat mengacu pada derajat kesepadanan yang telah dibuat dan penghubung (fungsi logika seperti AND, OR, dll) yang digunakan oleh variabel input dalam bagian premis dari aturan [22].
3. Lakukan implikasi fuzzy berdasarkan kuat penyulutan dan himpunan Fuzzy yang telah terdefinisi untuk semua variabel *input* di bagian konsekuensi dari setiap aturan. Hasil dari ini kemudian digabungkan untuk menghasilkan *output* inferensi.

4.3.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai *crisp* (tegas) dari himpunan Fuzzy, defuzzifikasi merupakan penggambaran dari daerah aksi kendali fuzzy untuk meartikan semesta pembicaraan ke daerah nonfuzzy [19]. Adapun metode untuk defuzzifikasi pada Fuzzy mamdani adalah sebagai berikut:

1. Metode *Centroid*

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

$$Z = \frac{\int_z zu(z)dz}{\int_z u(z)dz} \quad (21)$$

2. Metode *Bisector*

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

$$Z = \int_p^{y_n} u(z)dz \quad (22)$$

3. Metode *Min of Maximum* (MOM)

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

4. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

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

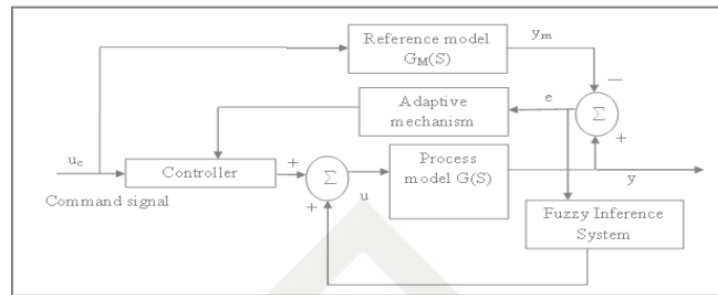
5. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

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

II.1.1 2.4.4 Pengendali MRAC-Fuzzy

Blok diagram dari sistem *Fuzzy Modified MRAC* seperti pada gambar 2.12 yang akan dirancang pada tugas akhir kali ini. Sistem ini memiliki *loop* tambahan yang mengumpan balik *error output plant* dan model melalui *fuzzy inference system*.

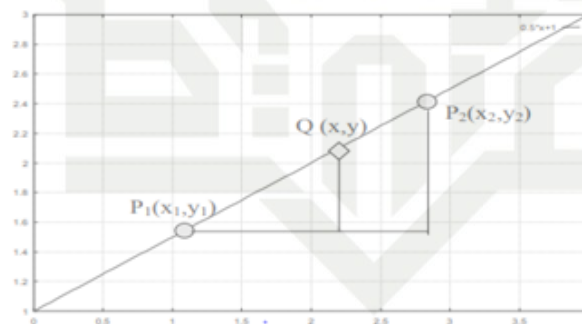
Keluaran *fuzzy inference system* ditambahkan ke sinyal kontrol agar waktu konvergensi output *plant* dan model menjadi lebih cepat.



Gambar 2.12 Blok Diagram *Fuzzy Modified MRAC* [36]

2.5 Interpolasi Linier

Interpolasi adalah menentukan titik-titik antara dari n buah titik dengan menggunakan suatu fungsi pendekatan tertentu. Salah satu metode interpolasi adalah interpolasi linier yaitu menentukan titik-titik antara 2 buah titik dengan menggunakan garis lurus.



Gambar 2.7 kurva untuk Interpolasi Linier

Persamaan garis lurus yang melalui 2 titik $P_1(x_1, y_1)$ dan $P_2(x_2, y_2)$ dapat dituliskan dengan :

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

Sehingga diperoleh persamaan dari interpolasi linier sebagai berikut :

$$y = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) (x - x_1) + y_1$$

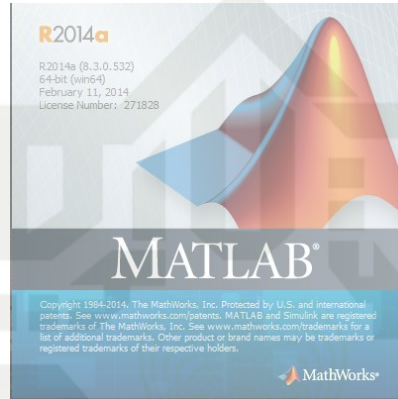
Algoritma Interpolasi Linier adalah sebagai berikut :

1. Tentukan dua titik P_1 dan P_2 dengan koordinasi masing-masing (x_1, y_1) dan (x_2, y_2)
2. Tentukan nilai x dari titik yang akan dicari

3. Hitung nilai y dengan persamaan
4. Tampilkan nilai titik yang baru $Q(x,y)$

2.6 Matlab (Matrix Laboratory)

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks [28].



Gambar 2.8 Ikon Matlab

MATLAB merupakan merk software yang dikembangkan oleh Mathworks.Inc dimana, dalam software ini menggunakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks dan sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga Matlab banyak digunakan pada Matematika dan Komputansi, Pengembangan dan Algoritma, Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototype, Analisa Data , Eksplorasi dan visualisasi, Analisis numerik dan statistic, dan Pengembangan aplikasi teknik [28].

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

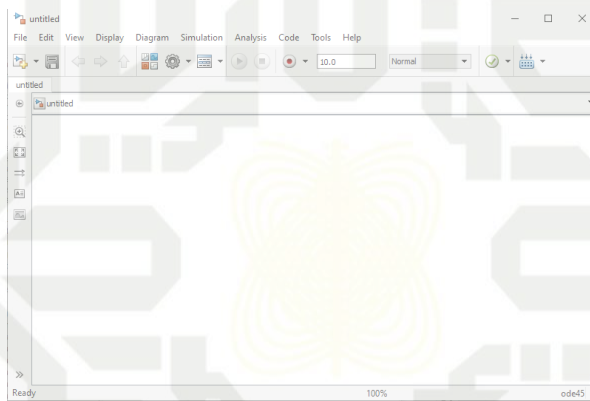
1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Current Directory* berfungsi untuk menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab
3. *Command history* berfungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat kembali.
4. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada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

Pada penelitian ini dilakukan pemrograman modeling dan simulasi untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. fitur matlab yang digunakan untuk simulasi ini disebut *Simulink*.

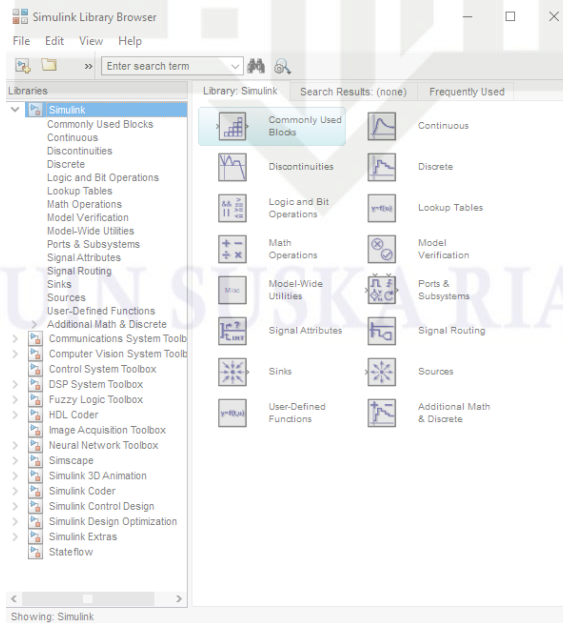
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Simulink adalah salah satu bagian dari Matlab program dimana *simulink* dapat digunakan untuk mensimulasi sistem, dalam artian mengamati dan menganalisa perilaku dari sebuah tiruan sistem yang sudah di modelkan. Tiruan sistem diharapkan memiliki perilaku yang sangat mirip dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisis dan desain sistem.

Simulink dalam aplikasi Matlab juga dapat menunjukkan performansi sistem dalam bentuk dua ataupun tiga dimensi. Dalam perancangan *user* menjadi mudah karena adanya blok-blok diagram yang dapat dengan mudah diatur sedemikian rupa, sesuai dengan model matematis dari sistem atau *plant* yang akan dikendalikan.



Gambar 2.9 Tampilan Model Simulink pada Matlab



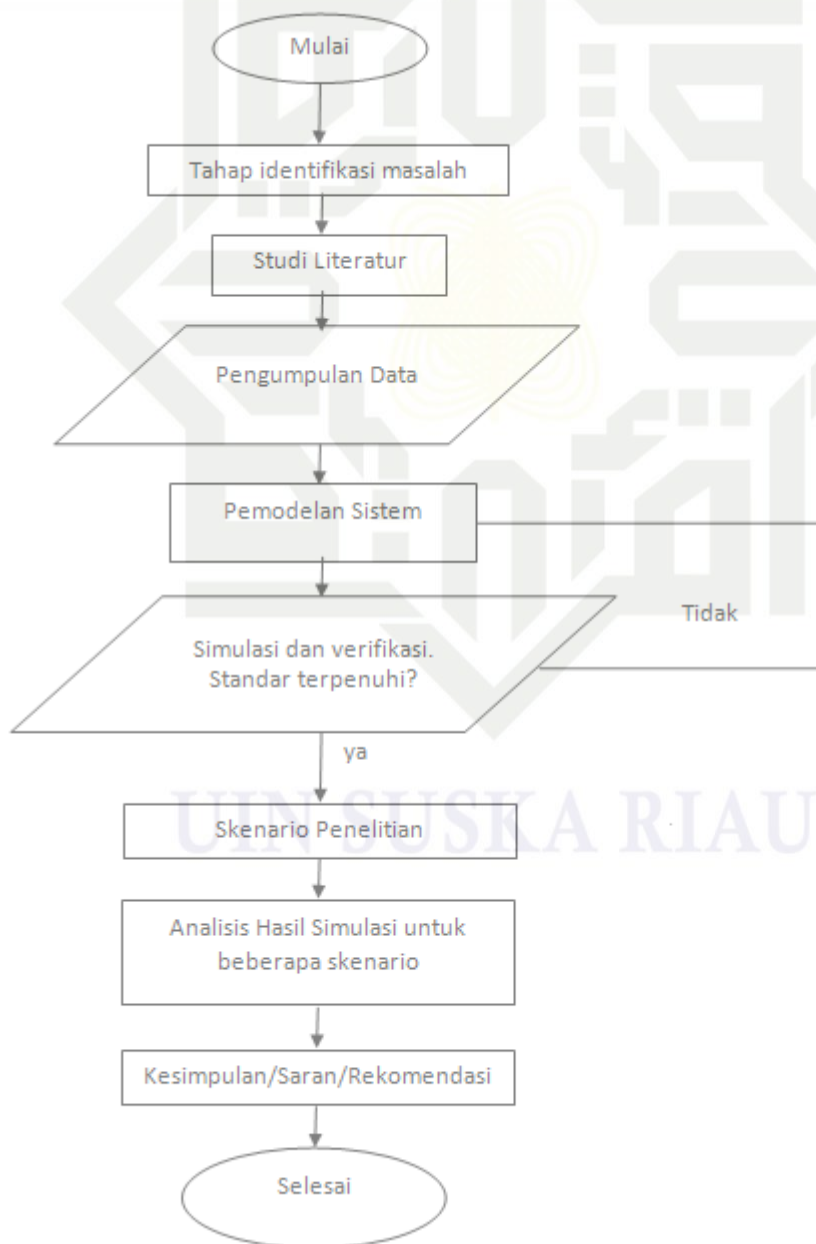
Gambar 2.10 Kotak Dialog Simulink Library

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Alur Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan maupun langkah-langkah yang dilakukan penulis, mulai dari studi literatur hingga hasil akhir dalam penelitian Tugas Akhir ini. Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan penulis :



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

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

2.2 Tahapan Penelitian

Berdasarkan Flowchart diatas, dalam penelitian yang dilakukan dapat mencapai tujuan yang diharapkan, maka beberapa tahapan yang harus dilakukan sebagai berikut :

1. Identifikasi masalah

Mencari masalah yang terdapat pada sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan melakukan *review* dari beberapa referensi yang berkaitan dengan pengendalian pada AVR

2. Studi Literatur

Melakukan *review* dan mempelajari referensi yang berkaitan dengan penelitian ini, mengenai *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dan perancangan pengendali MRAC dan Fuzzy

3. Pengumpulan data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data-data sebelum membuat desain yang diperlukan untuk tahap selanjutnya

4. Penentuan Variabel

Data-data yang didapat dari pengumpulan data pra desain diubah dalam bentuk model matematis dengan persamaan transfer fungsi sebagai berikut :

$$\frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{K_A}{(1+T_AS)(1+T_ES)(1+T_GS)}$$

5. Simulasi dan verifikasi

Tahapan ini untuk pengujian model matematis plant dalam bentuk transfer fungsi dari sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR) yang diubah ke dalam bahasa program matlab *Simulink* untuk menyesuaikan hasil keluaran dari sistem dengan referensi yang digunakan

6. Desain pengendali

Penelitian ini menggunakan pengendali MRAC yang dikombinasikan dengan pengendali Fuzzy. Untuk merancang pengendali MRAC, terlebih dahulu dilakukan penurunan matematis pengendali MRAC. Selanjutnya melakukan perancangan pengendali Fuzzy dan mengkombinasikan pengendali MRAC dengan pengendali Fuzzy

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



1. 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 Skenario Penelitian

Skenario penelitian merupakan tahap atau langkah secara umum tentang penelitian yang dilakukan seperti melakukan pengujian terhadap sistem

Analisa hasil

Pada tahapan ini digunakan untuk melihat hasil keluaran respon sistem yang meliputi *rise time, selting time, serta error steady state* dari perancangan pengendali apakah respon sistem sudah sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Kesimpulan dan saran

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

3.3 Simulasi dan Verifikasi

Pada perancangan matematis ini data-data parameter *Automatic Voltage Regulator* (AVR) yang sudah ditetapkan sebelumnya disubstitusikan ke model matematis yang diturunkan pada persamaan (2.7). Berikut ini adalah parameter dari *Automatic Voltage Regulator* (AVR) yang digunakan:

Tabel 3.1 spesifikasi sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR)

No.	Parameter		Spesifikasi
1.	Ka	Amplifier	10.00
2.	Ta	Konstanta waktu Amplifier	0.100
3.	Ke	Exciter	1.000
4.	Te	Konstanta waktu Exciter	0.400
5.	Kg	Generator	1.000
6.	Tg	Konstanta waktu Generator	1.000
7.	Kr	Sensor	1.000

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

Berdasarkan persamaan (2.7) setelah dimasukkan nilai-nilai parameter *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada tabel 3.1 ke dalam fungsi alih *Automatic Voltage Regulator* (AVR), maka didapatkan fungsi alih *Automatic Voltage Regulator* (AVR) sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{K_A}{(1+T_{AS})(1+T_{ES})(1+T_{GS})}$$

Diketahui nilai K_A , T_a , T_e , dan T_g . selanjutnya memasukkan nilai tersebut kedalam fungsi alih sebagai berikut :

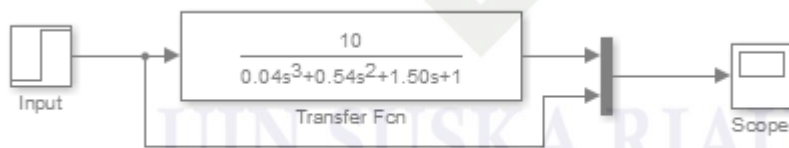
$$G(s) = \frac{K_A}{(1+T_{AS})(1+T_{ES})(1+T_{GS})}$$

$$G(s) = \frac{10}{(1+0.1s)(1+0.4s)(1+1s)}$$

$$G(s) = \frac{10}{0.04s^3 + 0.54s^2 + 1.50s + 1} \tag{3.1}$$

3.4 Validasi Model Matematis

Untuk memvalidasikan model matematis untuk *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dilakukan menggunakan perangkat lunak *Simulink Matlab R2014a* secara *open loop* dari penurunan nilai yang didapatkan. Variabel yang digunakan pada simulasi ini yaitu *setpoint* bernilai 1 volt. Rangkaian *open loop* untuk menguji sistem pada plant keseimbangan sudut pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dapat disusun sebagai berikut :



Gambar 3.2 Rangkaian AVR secara *Open Loop*

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 3.3 Respon *Open Loop* sistem pada AVR

Berdasarkan pada gambar 3.3 menunjukkan grafik dari hasil respon pengujian sistem tanpa pengendali (*open loop*) diatas menampilkan respon keluaran sistem yang sama dengan jurnal rujukan. Terlihat bahwa respon sistem dari *Automatic Voltage Regulator* (AVR) yang stabil dan melewati setpoint yang diinginkan. Oleh karena itu, diperlukannya pengendali agar dapat mencapai *setpoint* yang diberikan.

3.5 Perancangan Pengendali MRAC dengan Metode *MIT Rule*

Dalam merancang pengendali MRAC menggunakan metode *MIT Rule* untuk mendapatkan model referensi. Karena respon sistem pada penelitian ini merupakan respon sistem orde 2 maka untuk itu membuat model referensi menggunakan karakteristik orde 2 dengan mengikuti persamaan 2.14 :

$$Gm(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Untuk memperoleh ω_n digunakan persamaa 2.15 :

$$t_s = \frac{4}{\omega_n \zeta}$$

$$\zeta = \frac{4}{t_s \omega_n}$$

$$\omega_n = \frac{4}{(4.53)(1)}$$

$$\omega_n = \frac{4}{4.53}$$

$$\omega_n = 0.883$$



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

Dengan *settling time* sebesar 4.53 yang didapatkan dengan cara simulasi *open loop*. Dengan besarnya nilai $\zeta = 1$ sehingga menghasilkan nilai $\omega_n = 0.883$ yang didasarkan pada kriteria 2% untuk nilai *settling time*, maka fungsi alih model matematisnya menjadi :

$$G_m(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$G_m(s) = \frac{(0.883)^2}{s^2 + 2(1)(0.883)s + (0.883)^2}$$

$$G_m(s) = \frac{0.78}{s^2 + 1.766s + 0.78}$$

Selanjutnya adalah merancang pengendali MRAC dengan satu gain pada *Automatic Voltage Regulator (AVR)* :

$$G_m(s) = \frac{0.78}{s^2 + 1.766s + 0.78}$$

Untuk mendapatkan nilai θ digunakan persamaan 2.10 dan persamaan 2.11. Adapun penjabarannya sebagai berikut :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma e \frac{k}{k_0} y_m = -\gamma' y_m e$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\gamma' \frac{0.78}{s^2 + 1.766s + 0.78}$$

$$\theta = \frac{1}{s} - \gamma' \frac{0.78}{s^2 + 1.766s + 0.78}$$

Selanjutnya menggunakan aturan MIT untuk mendapatkan metode penyesuaian parameter θ . Ketika y_{plant} tidak diketahui dengan persamaan 2.08, Adapun penjabarannya didefinisikan sebagai berikut :

$$e = y_{plant} - y_{model} = G_p \theta u_c - G_m u_c$$

$$y_{plant} = G_p u = \left(\frac{10}{0.04 s^3 + 0.54 s^2 + 1.50 s + 1} \right) (\theta u_c)$$

$$y_{plant} = \left(\frac{10}{0.04 s^3 + 0.54 s^2 + 1.50 s + 1} \right) u_c$$

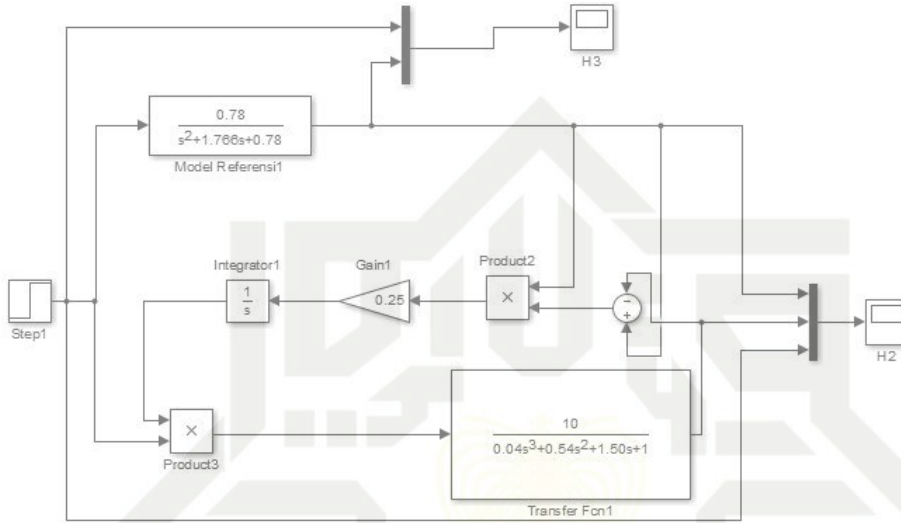
Selanjutnya mencari nilai error dengan mengambil turunan parsial *error* dengan nilai θ . Nilai u_c tidak termasuk parameter, karena itu tidak penting saat mengevaluasi turunannya.

$$e = \left(\frac{10}{0.04 s^3 + 0.54 s^2 + 1.50 s + 1} \right) u_c - G_m u_c$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \left(\frac{10}{0.04 s^3 + 0.54 s^2 + 1.50 s + 1} \right) u_c$$

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

Berdasarkan persamaan sistematis yang sudah diturunkan, maka kita dapat mendesain MRAC menggunakan aplikasi matlab dengan hasil desain rangkaian yang diperlihatkan seperti gambar berikut :



Gambar 3.4 Diagram Blok Pengendali MRAC Pada AVR

3.6. Perancangan Kendali Fuzzy Mamdani

Penelitian ini menggunakan *rule base* 3X3 untuk sistem inferensi fuzzy-nya maka terdapat 5 himpunan fuzzy pada input dan outputnya yaitu Un, Zero dan Up. Semakin banyak partisipasi dari himpunan fuzzy pada ruang input dan output menghasilkan pendekatan yang baik terhadap sistem atau proses [30]. Variabel input dan output fuzzy menggunakan 2 input yaitu *error*, *derror* dan satu output untuk fungsi keanggotaan menggunakan bentuk segitiga (*triangle*) dan trapesium (*trapezium*), penggunaan jenis *trapesium* adalah untuk mencari nilai rata kiri dan rata kanan, penggunaan jenis segitiga untuk menentukan nilai tengahnya. Adapun tahap perancangannya dapat dilihat sebagai berikut:

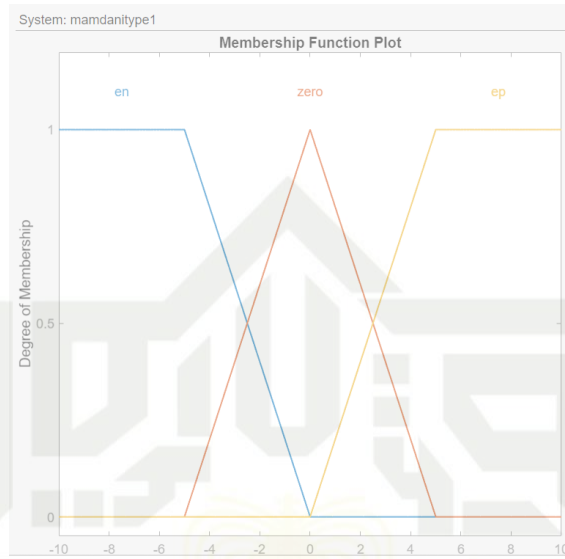
3.6.1. Fuzzifikasi

perancangan fuzzifikasi dalam pemodelan ini, adapun pada input *error* didefinisikan berdasarkan *setpoint* yang diberikan pada plant [31], maka penulis menggunakan *error* dengan range [-10 10] dan untuk *delta error* dengan range [-5 5] karena *plant* adalah sistem stabil maka *error* sekarang dan *error* sebelum bernilai sama, untuk outputnya dengan range [-300 330] berdasarkan keluaran *setpoint* yang

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.

akan diberikan pada *plant*, berikut adalah fuzzifikasi dari perancangan *fuzzy* pada penelitian ini:



Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan *Error*

Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan *error* dimana digunakan fungsi keanggotaan yang sempit yang bertujuan untuk menghasilkan *rise time* yang lebih cepat akan tetapi apabila terlalu sempit membuat sistem berosilasi [30]. Fungsi keanggotaan error negative (*en*) dan error positif (*ep*) berbentuk *trapesium* yang terletak pada rentang $[-10 -10 -5 0]$ dan $[0 5 10 10]$, fungsi keanggotaan *zero* berbentuk segitiga yang terletak pada rentang $[-5 0 5]$.



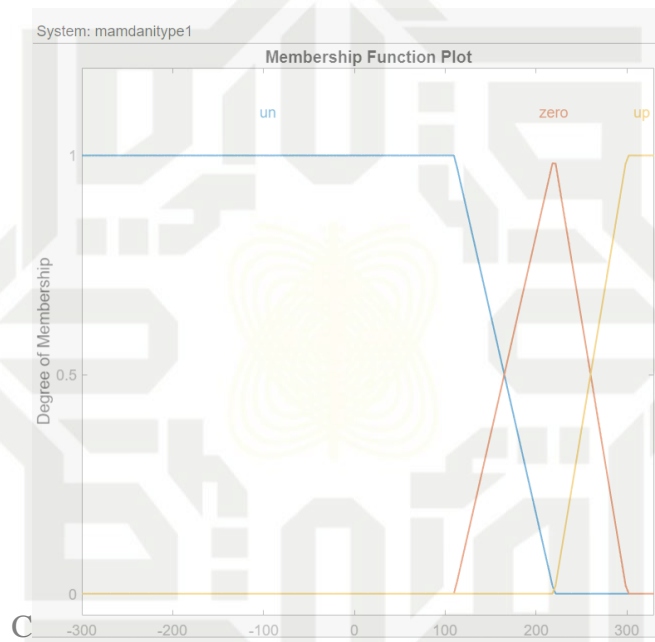
Gambar 3.8 Fungsi Keanggotaan *Derror*

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.

3.6.2. Rule Base

Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan *derror* yang mana penulis menggunakan fungsi keanggotaan yang lebih sempit dari *error* karena di fungsi keanggotaan *error* tidak terlalu sempit maka pada *derror* bisa dipersempit lagi tujuannya untuk mempercepat *rise time* dan *error steady state* yang lebih kecil [30]. Fungsi keanggotaan *derror* negative (den) dan *derror* positif (dep) berbentuk *trapesium* yang terletak pada rentang [-5 -5 -2 0] dan [0 2 5 5] fungsi keanggotaan *zero* berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-3 0 3].



Gambar 3.9 Fungsi Keanggotaan *Output*

Penentuan fungsi keanggotaan *output* merupakan prioritas yang pertama dari sistem *fuzzy* karena memiliki pengaruh yang besar dalam hal stabilitas dan osilasi sistem, maka penulis menggunakan fungsi keanggotaan pada umumnya yaitu mengambil di titik *crossover* [31]. Karena setpoint pada plant yaitu 220V maka penulis mengambil nilai tengah dengan tujuan agar sistem lebih stabil. Fungsi keanggotaan *un* dan *up* berbentuk *trapesium* yang terletak pada rentang [-300 -300 110 220] dan [220 300 330 330], fungsi keanggotaan *zero* berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [110 220 300].

Rule base, untuk mengetahui derajat keanggotaan maka dilakukan basis aturan dari sistem *fuzzy* tersebut, dalam penelitian ini penulis menggunakan pendekatan



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.

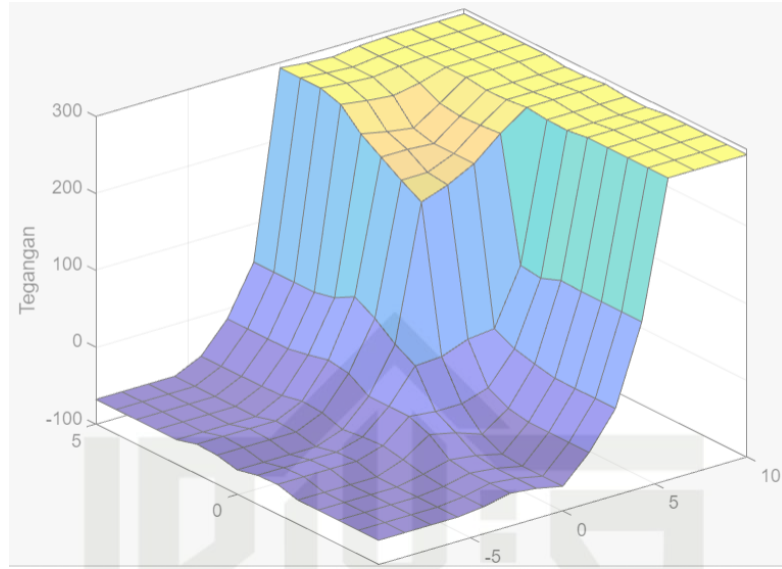
heuristik untuk menentukan *rule base*-nya. Pendekatan heuristik adalah pendekatan yang membangun *rule base* berdasarkan pengeksplorasian pengetahuan pakar dan analisa perilaku sistem pendekatan ini perilaku sistemnya berdasarkan pengetahuan sistem secara kualitatif [31], adapun *rule base* yang penulis buat adalah sebagai berikut:

- if (error is en) and (derror is den) then (output is un)*
- if (error is en) and (derror is zero) then (output is un)*
- if (error is en) and (derror is dep) then (output is up)*
- if (error is zero) and (derror is den) then (output is un)*
- if (error is zero) and (derror is zero) then (output is zero)*
- if (error is zero) and (derror is dep) then (output is up)*
- if (error is ep) and (derror is den) then (output is un)*
- if (error is ep) and (derror is zero) then (output is up)*
- if (error is ep) and (derror is dep) then (output is up)*

Tabel 3.3 Rule Base Fuzzy

<i>Derror Error</i>	<i>Den</i>	<i>Zero</i>	<i>Dep</i>
<i>En</i>	<i>Un</i>	<i>Un</i>	<i>Un</i>
<i>Zero</i>	<i>Un</i>	<i>Zero</i>	<i>Up</i>
<i>Ep</i>	<i>Up</i>	<i>Up</i>	<i>Up</i>

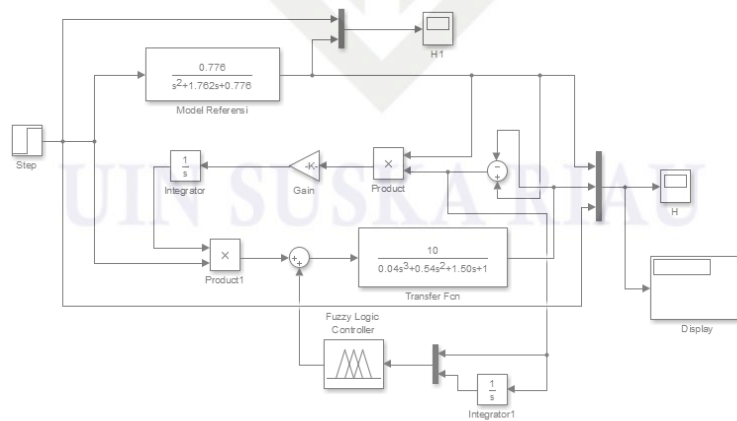
Gambar untuk *surface* dari *rule base Fuzzy* diatas dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.6 Viewer Surface Pengendali Fuzzy

3.7. Perancangan Pengendali MRAC-Fuzzy

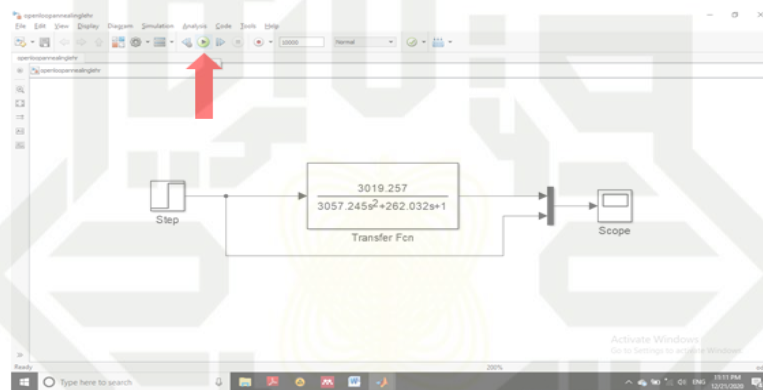
Perancangan pengendali MRAC-Fuzzy pada sistem *Automatic Voltage Regulator* dilakukan dengan cara menghubungkan secara paralel antara *transfer function* sistem *Automatic Voltage Regulator* dengan pengendali *fuzzy* kedalam rangkaian. Kendali *fuzzy* digunakan untuk memperbaiki performa transien dari MRAC. Perancangan pengendali MRAC-Fuzzy dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 3.10 Desain Pengendali MRAC-Fuzzy

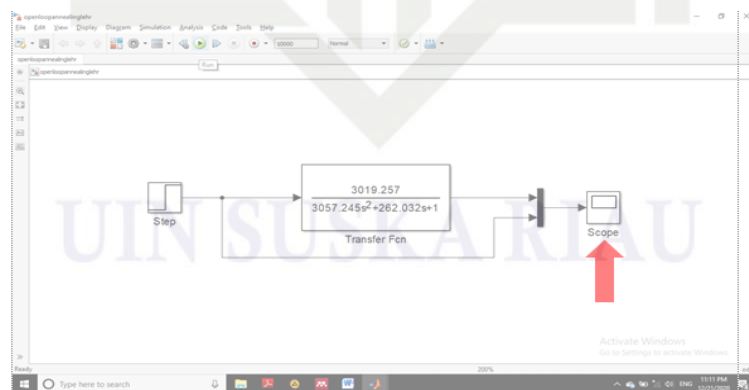
Basil Data yang akan diambil Grafik Setiap Pengujian Sistem

Grafik yang akan diambil meliputi simulasi sistem secara *open loop*, simulasi menggunakan pengendali MRAC, simulasi menggunakan pengendali MRAC dengan penambahan pengendali *fuzzy* dan simulasi pengendali MRAC-*fuzzy* dengan adanya sinyal gangguan. Akan dilakukan pengujian dari pengendali yang telah dibuat pada sistem *Automatic Voltage Regulator* dengan menekan *run* untuk mensimulasikannya. Sebagai contoh terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.12 Cara Menjalankan Simulasi

Kemudian klik dua kali pada blok *scope* untuk melihat hasil simulasi.



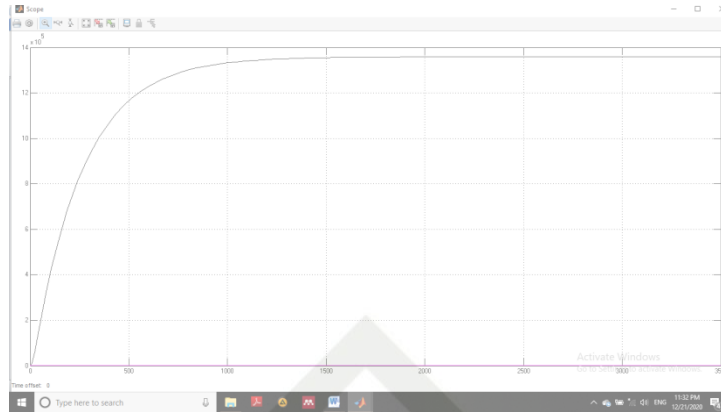
Gambar 3.13 Cara Menampilkan Grafik Keluaran Sistem

Selanjutnya akan muncul grafik keluaran sistem, grafik ini nantinya yang akan analisa hasil dari respon sistem. Contoh grafik keluaran sistem sebagai berikut:

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3.14 tampilan grafik keluaran sistem

3.2 Respon Transient Sistem dari Setiap Pengujian

Respon *transient* yang akan diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Rise Time*/ Waktu Tunak (t_r)
Merupakan selisih waktu saat respon dalam kondisi 95% dengan 5% dari *setpoint*
2. *Settling Time*/ Waktu Tunak (t_s)
Merupakan ukuran waktu yang digunakan untuk menyatakan respon dari suatu sistem telah masuk $\pm 2\%$ dari keadaan *steady state*.
3. *Delay Time*/ Waktu Tunda (t_d)
Waktu yang dibutuhkan suatu sistem untuk mencapai setengah dari nilai akhir respon sistem pertama kali.
4. *Maximum Overshoot* (M_p)
Nilai puncak respon sistem.
5. *Error Steady State*
Selisih dari nilai yang terukur dengan nilai yang sebenarnya.



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

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa respon dari beberapa pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa kombinasi pengendali MRAC-Fuzzy dapat mengatasi kekurangan yang timbulkan ketika sistem di rancang hanya secara open loop saja maupun ketika digunakan pengendali MRAC saja. Rancangan sistem secara open loop memiliki error yang sangat besar yaitu 1979.9927 V dan setelah digunakan pengendali MRAC error sistem dapat teratasi dengan baik namun sistem memiliki osilasi dan overshoot yang cukup tinggi. Dengan penambahan pengendali fuzzy semua kekurangan tersebut dapat teratasi dengan baik dimana error sistem menjadi sangat kecil, osilasi sistem juga teredam dan overshoot yang dihasilkan pun masih dalam batas toleransi dengan nilai *rise time* 7.7912 detik dan *settling time* 8.5432 detik, *maximum overshoot* 1.9349% serta nilai *error steady state* sebesar -0.0007127 V.

5.2 Saran

Pada penelitian ini dapat di lihat bahwa walaupun sistem sudah stabil namun sistem masih memiliki *overshoot* serta waktu naik yang di butuhkan pun belum dapat mengikuti mode referensi yang di tentukan, sehingga di harapkan pada penelitian selanjutnya dapat digunakan metode lain seperti pengendali MRAC dengan 2 gamma ataupun 3 gamma atau melakukan perancangan pengendali MRAC dengan metode lyapunov sehingga menghasilkan respon sistem yang lebih baik lagi.

UIN SUSKA RIAU

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

DAFTAR PUSTAKA

FAKHRI KHOTTOB, "ANALISA KAPASITAS DAN KEBUTUHAN DAYA TERPASANG UNTUK MENGHEMAT PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK PADA KAMPUS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG," MALANG, 2018.

Faisal Afif, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* , vol. VI, no. 1, pp. 43-52, 2022.

Muhammad Iqbal. (2021, JANUARY) CNN Indonesia. [Online]. <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20210113175907-85-593306/rata-rata-listrik-padam-127-jam-per-pelanggan-pada-2020>

Ni Wayan Rasmini, "Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (ATS) PLN - Genset 3 Phasa 10 kVA," *JURNAL MATRIX*, vol. XI, no. 2, pp. 41-46, 2019.

Yoshua Habibnur, "PERANCANGAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR (AVR) BERBASIS PENGATURAN TEGANGAN CATU DAYA ARUS SEARAH INVERTER 1 FASE SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION (SPWM) SINEWAVE," *TRANSIENT*, vol. VII, no. 1, pp. 334-340, 2018.

Arman Jaya, "*Implemtasi Kontroller PID Pada AVR (Automatic Voltage Regulator) Untuk Pengaturan Tegangan Eksitasi Generator Sinkron 3 fasa*", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

Khaerul Humam, "*Koordinasi Fuzzy PID-AVR Optimal Menggunakan Harmony Search Algorithn Untuk Meredam Osilasi Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik*", Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang.

Pamungkas Jati, "*Simulasi Kendali PID Dan Logika Fuzzy Pada Sistem Eksitasi Automatic Voltage Regulator Dengan Simulink Matlab*", Program

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.

Studi Fisika, UNNES, 2016.

Olivia Fernaza, "*Studi Metoda Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) dan Aplikasi Pada Sistem Automatic Voltage Regulator (AVR)*", vol. 1, no. 1, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Andalas, 2012.

K. J. Astrom and B. Wittenmark, "*Adaptive Control*". New York: Dover Publications, 1995.

K. Huberman and M. Muttaqien, "*sistem kendali kecepatan motor DC magnet permanen dengan metode logika fuzzy berbasis mikrokontroller*", univ. telkom, Bandung, 2014.

N.ZA and L. Maulida, "*perbandingan permodelan kontrol fuzzy dan PID pemanas Fuel Gas*", vol. 1, mei 2015.

Anant Oonsivilai, "*Optimum PID Controller tuning for AVR System using Adaptive Tabu Search*", School of Electrical Engineering, 2008.

Toto Sukisno, "*Matlab/Simulink Untuk Studi Pengendalian Daya Reaktif dan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Automatic Voltage Regulator (AVR)*", Universitas Negeri Surabaya, 2020.

Edriyanto NW, "*Perencanaan Optimal Sistem Kontrol AVR (Automatic Voltage Regulator) Untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan Dengan Menggunakan Algoritma Genetik*", Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.

Vivek Kumar Bhatt, "*Desain Of PID Controller In Automatic Voltage Regulator (AVR) System Using PSO Technique*", Department Of Electrical Engineering, Indore, India, 2013.

Ogata, K, "*Teknik Kontrol Automatik*". Jakarta: Erlangga, jilid 1, 1995.

Yuan-yuan Zhu Shi-jie Su, "*A method to construct a reference model for model*

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.

reference adaptive control, vol. 2, 2019.

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

Agung Setiawan, Budi Yanto, and Kiki Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. Bali, Indonesia: Jayapangus Press, 2018.

Sri Kusumadewi, *Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Edisi Pertama ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2002.

Thomas Sri Widodo, *Sistem Neuro Fuzzy*, Edisi Pertama ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2005.

Iwan Setiawan, *Kontrol PID untuk industri 2008*.

Triyono, "APLIKASI KONTROL PID DENGAN SOFTWARE MATLAB", vol. 1, Jurnal Teknik, 2015.

Ali, Muhammad, "Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab", Universitas Negeri Yogyakarta, 2004.

Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering", 5th ed., Andrew Gilfillan, Ed.: Prentice Hall, 2010, p. 793.

Permata Sari, Ranti, "Penalaan Parameter Kontrol PID dengan Metode Heuristik Aplikasi Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC", vol. 1, no. 2, Elektro Institut Teknologi Nasional (ITENAS), 2010.

Cahyono, Budi, "Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) dalam Pembelajaran Aljabar Linier," *Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan Institut Agama Islam Negeri Walsiongso*, 2013.

Ferdiansyah. tentang kendali PID. [Online].
[https://www.academia.edu/9928544/Teori Kontrol PID Proportional Integral](https://www.academia.edu/9928544/Teori_Kontrol_PID_Proportional_Integral)

Derivative

PLN, *"Mutu Produk Menuju World Class Services 2015"*, Surabaya, 2013.



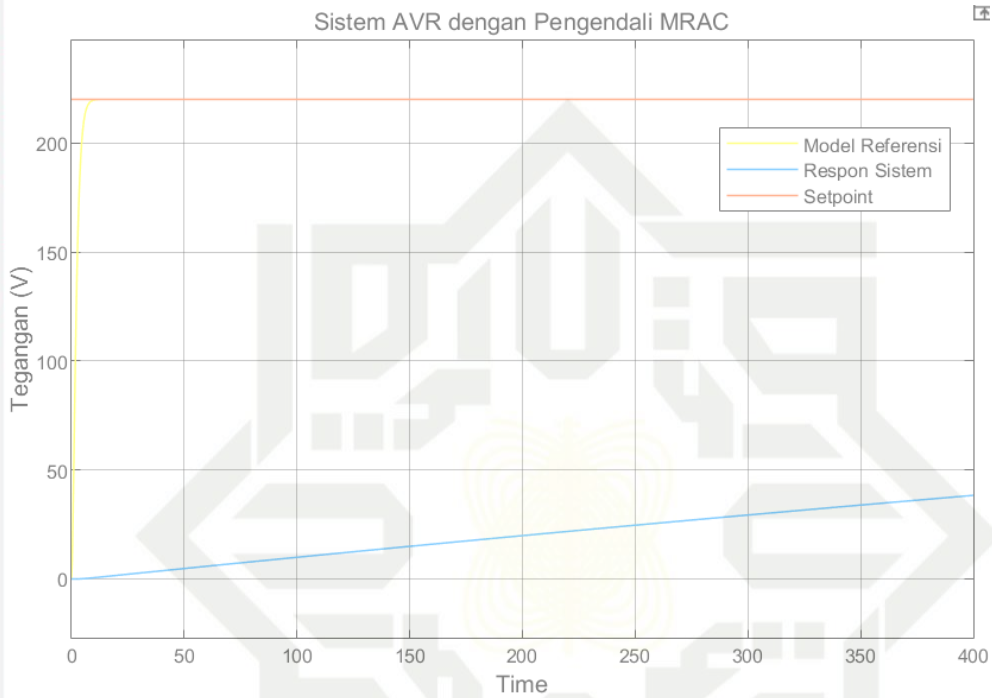
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

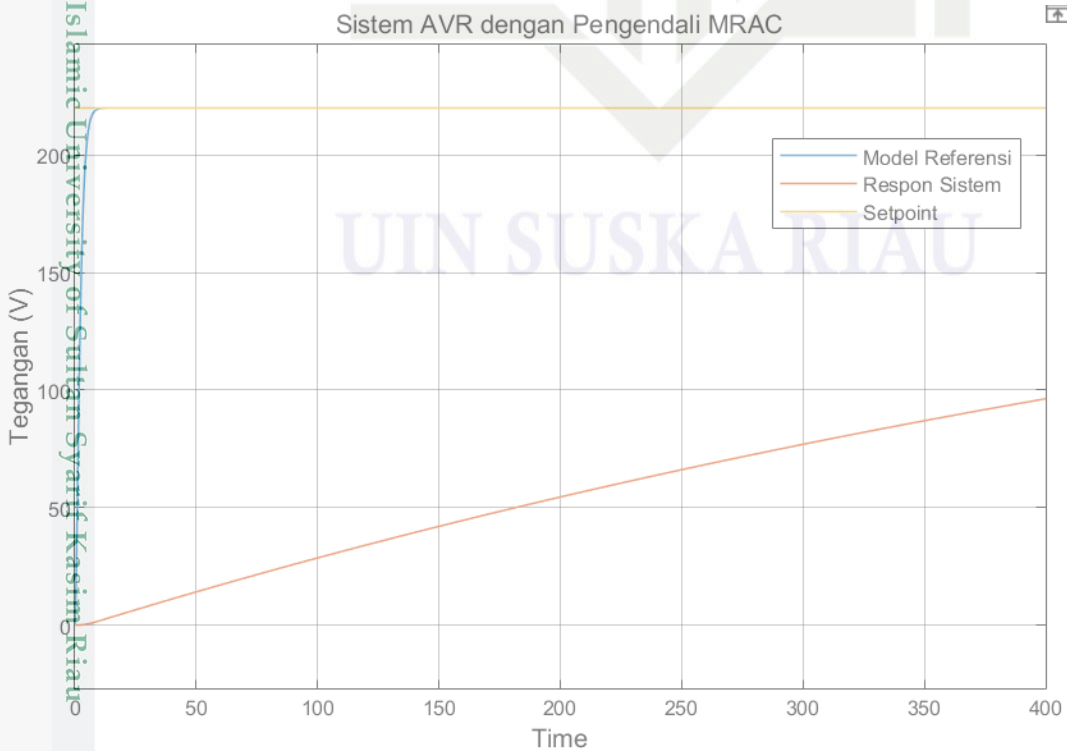
LAMPIRAN A

Prose Tuning Nilai Gamma (γ) pada Pengendali MRAC

1. Gamma 0.000000001



2. Gamma 0.000000003



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

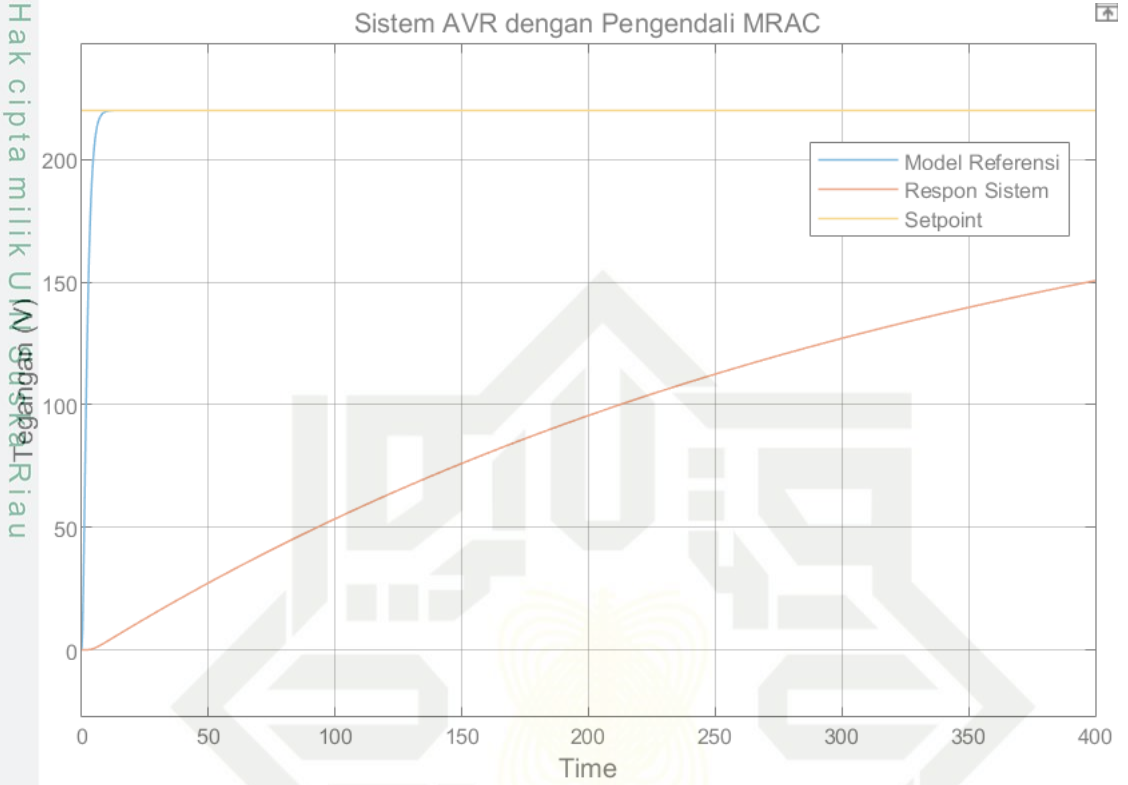
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



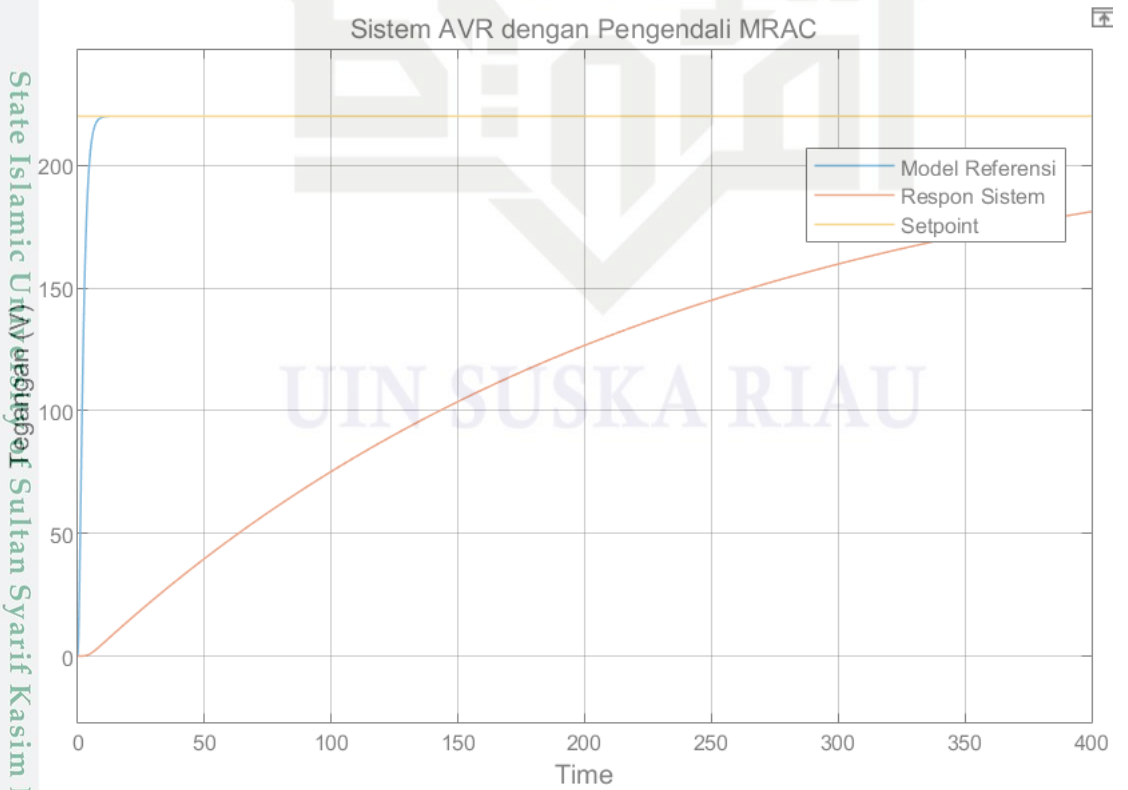
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Gamma 0.000000006



4. Gamma 0.000000009

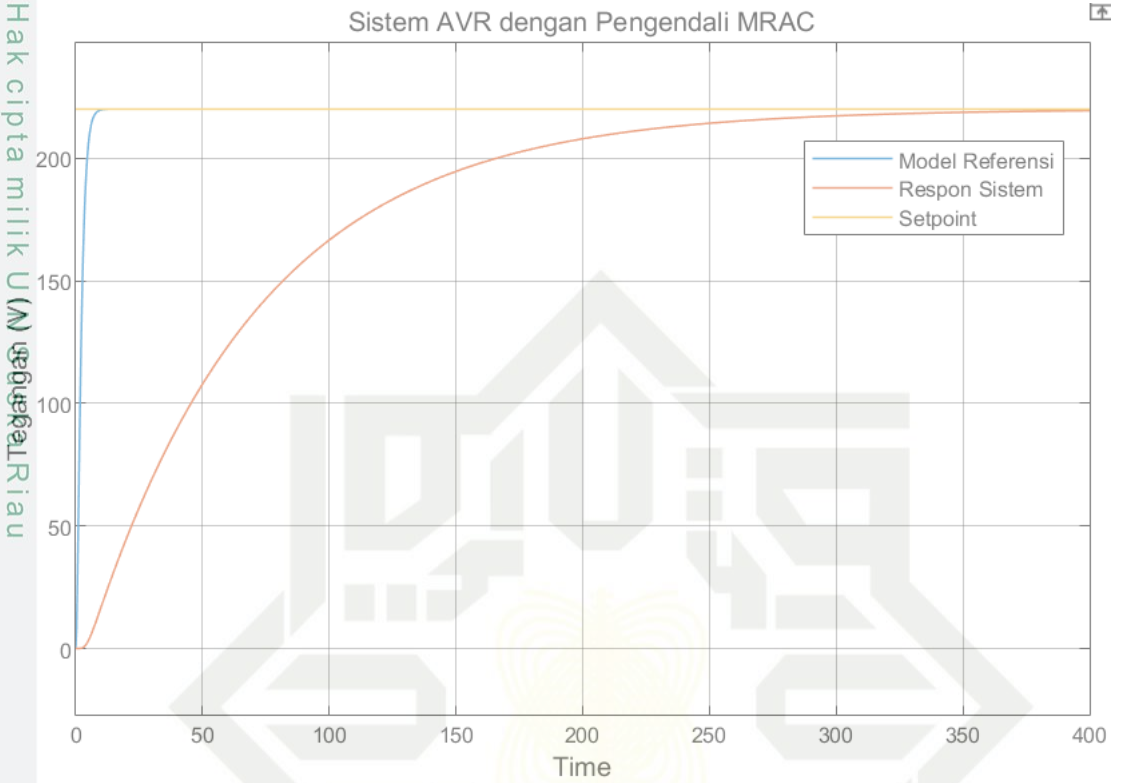




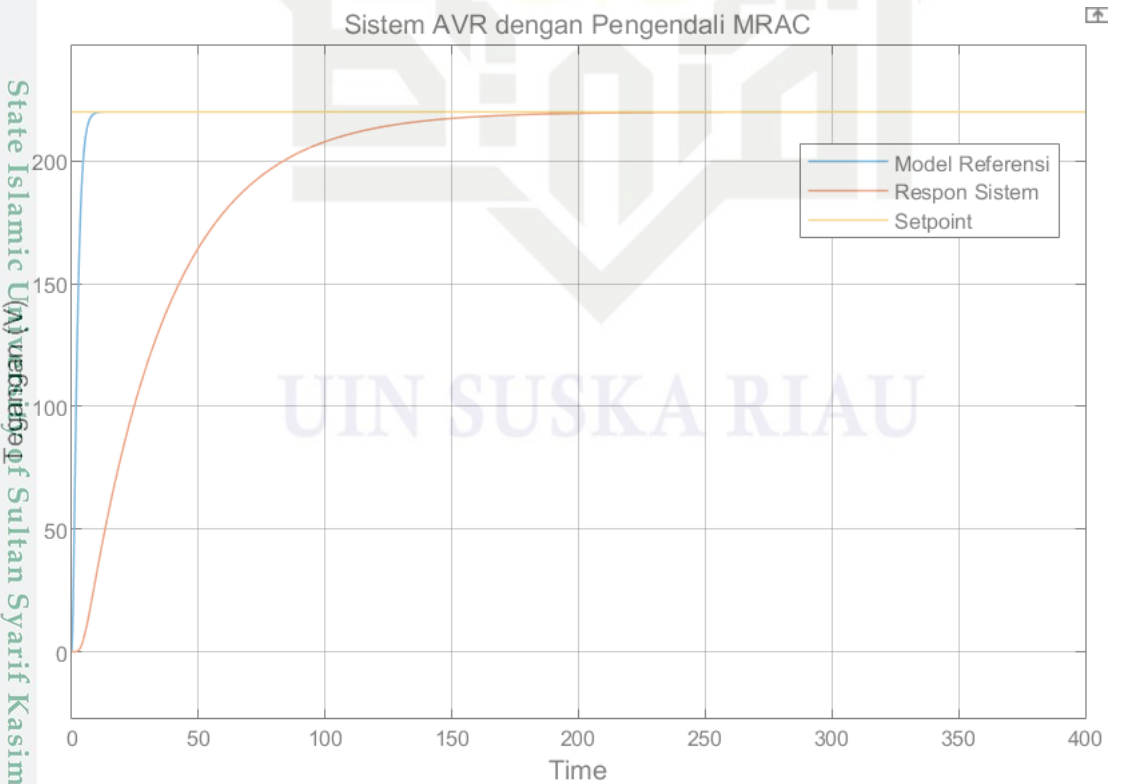
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Gamma 0.00000003



6. Gamma 0.00000006

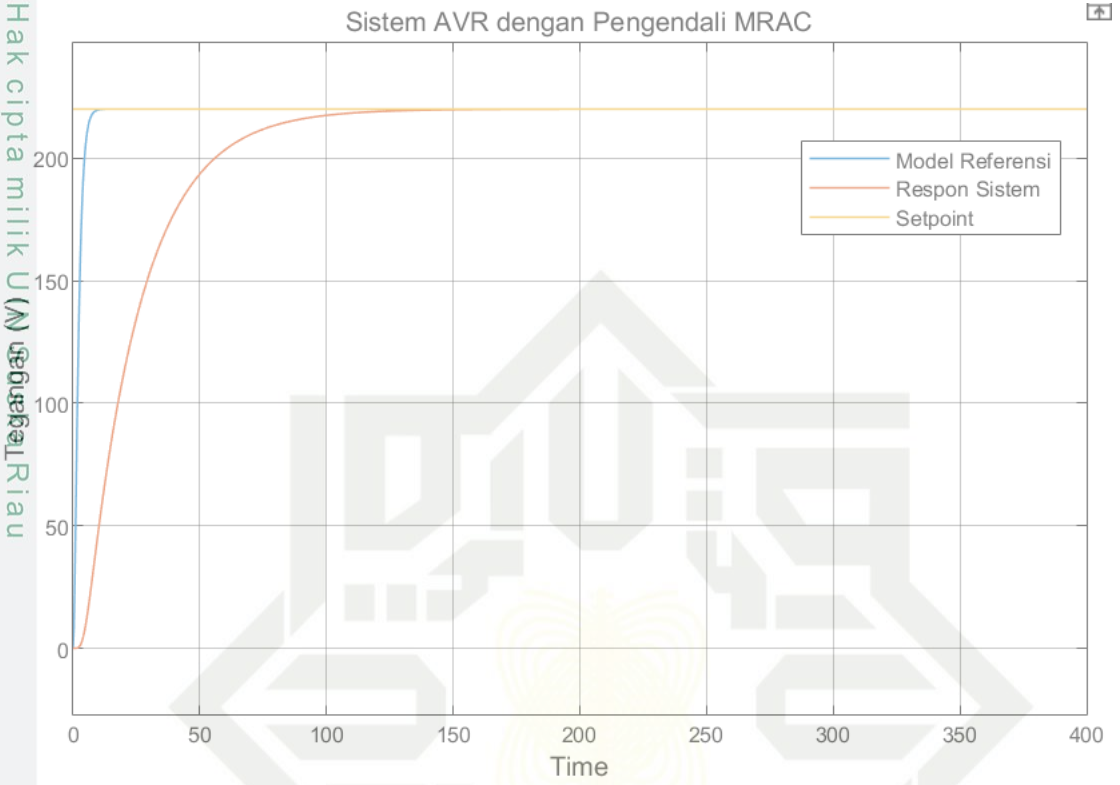




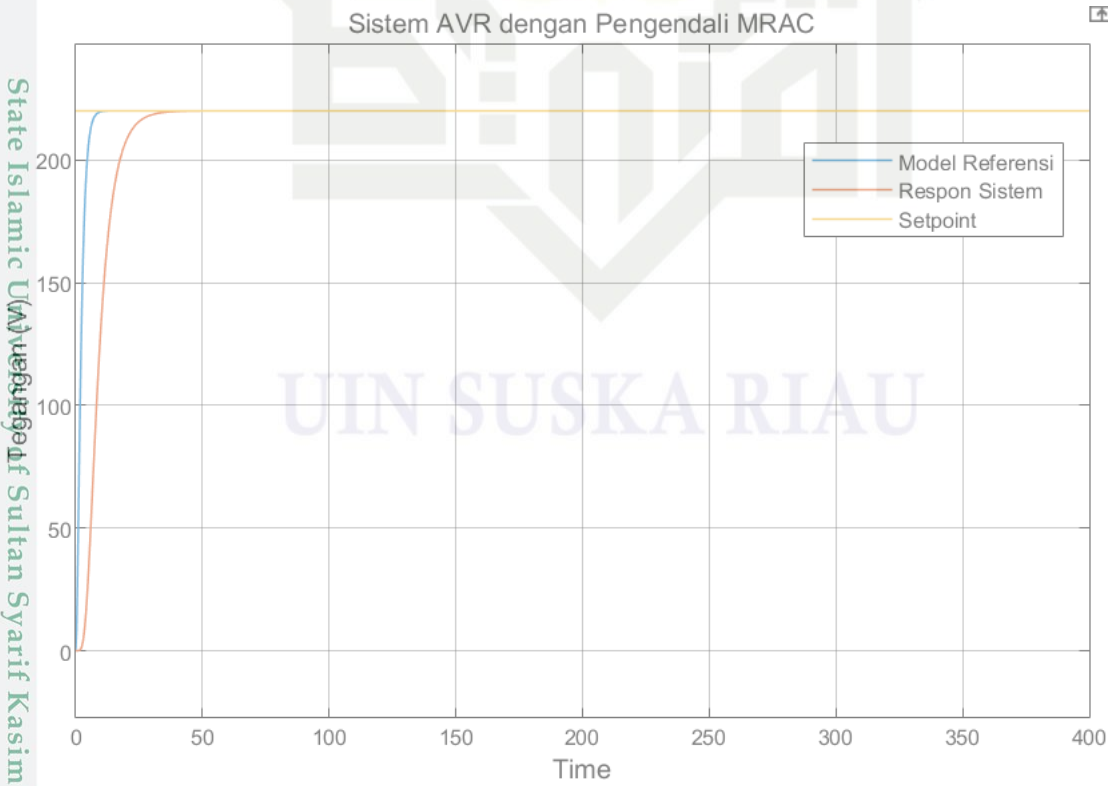
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Gamma 0.0000009



8. Gamma 0.0000003

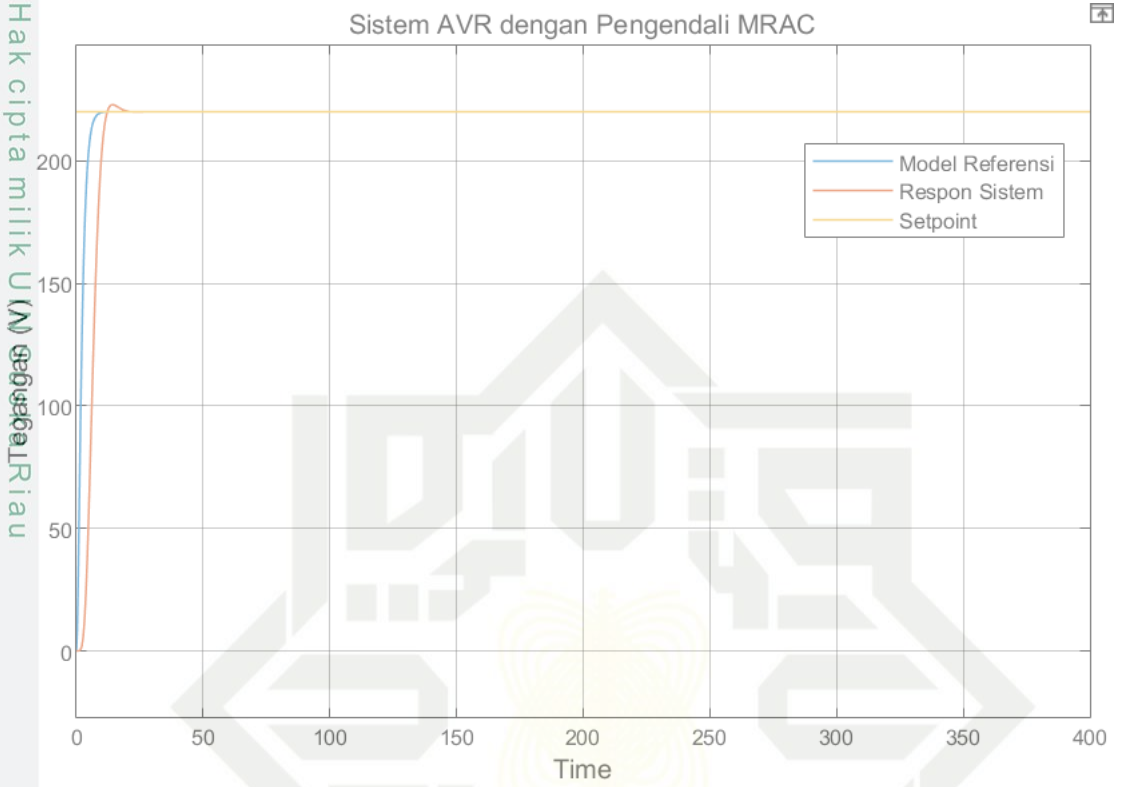




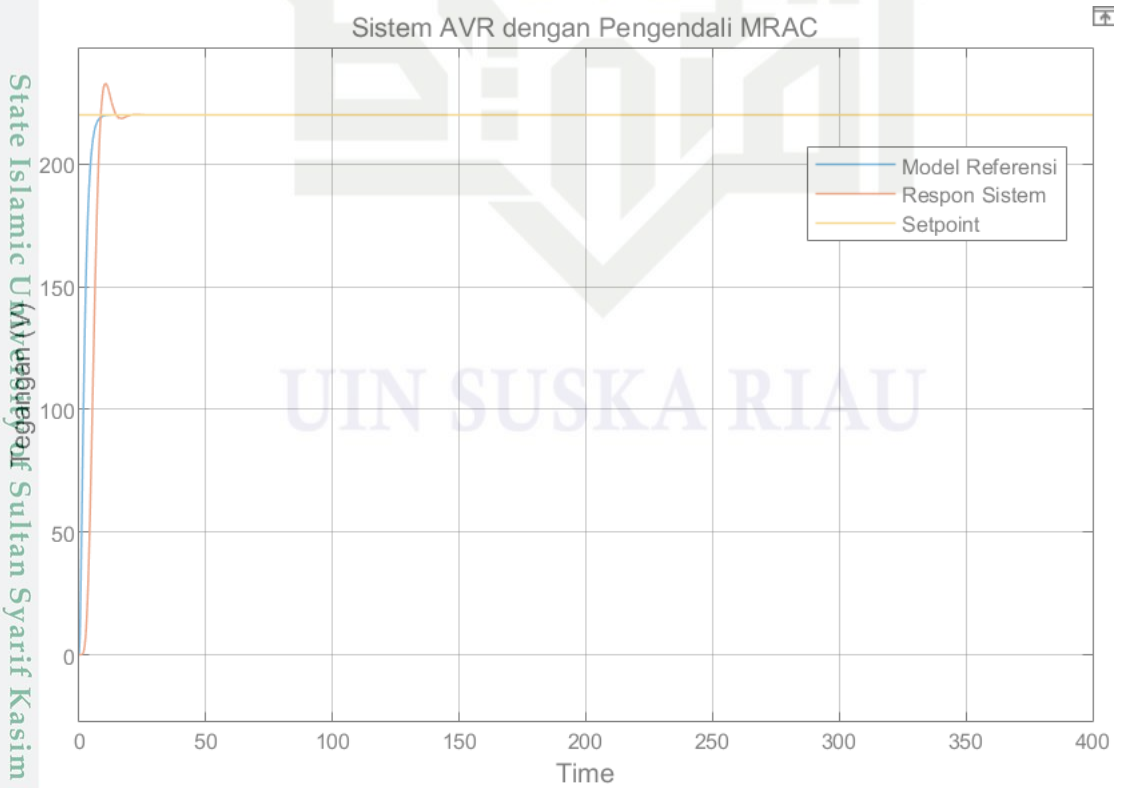
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

9. Gamma 0.0000006

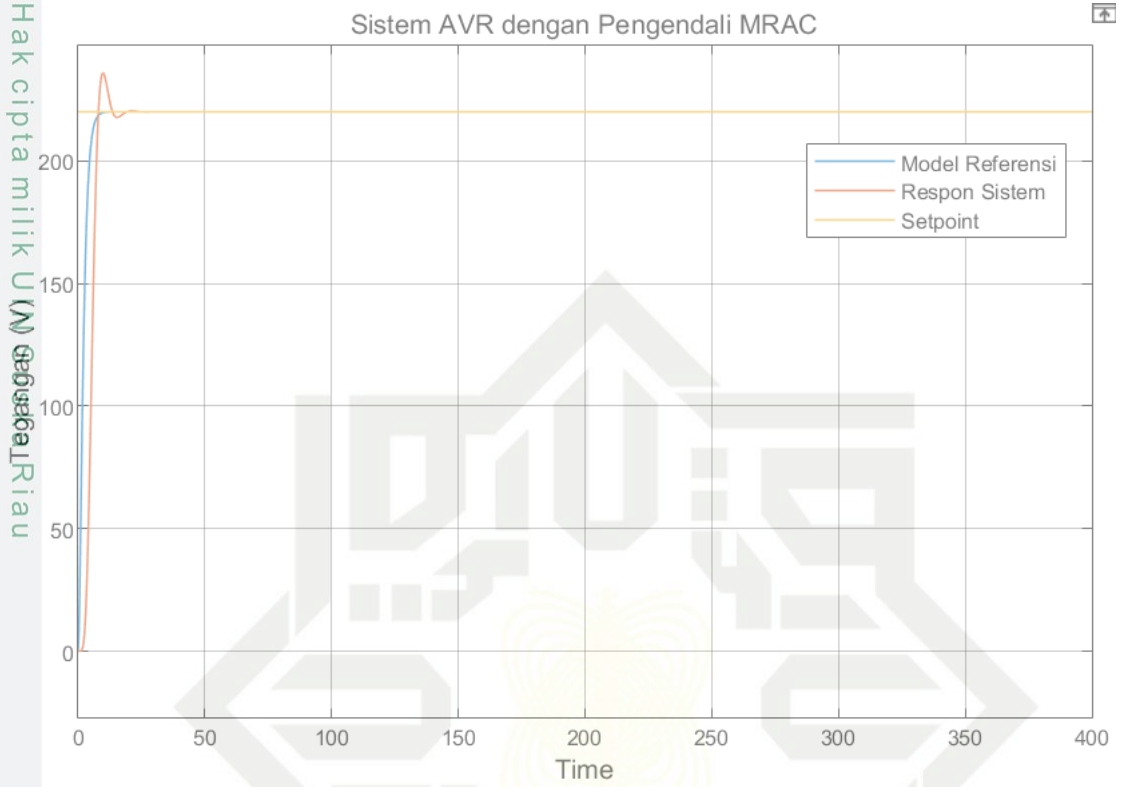


10. Gamma 0.0000009

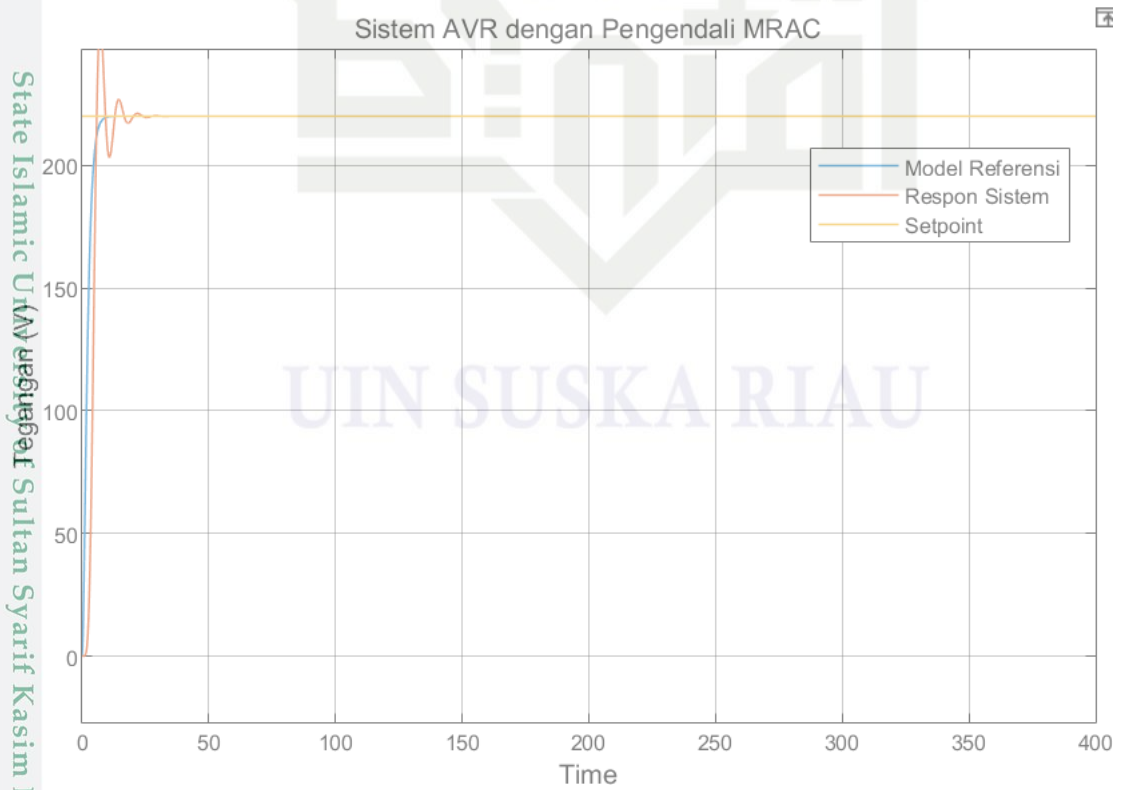




11. $\gamma = 0.000001$



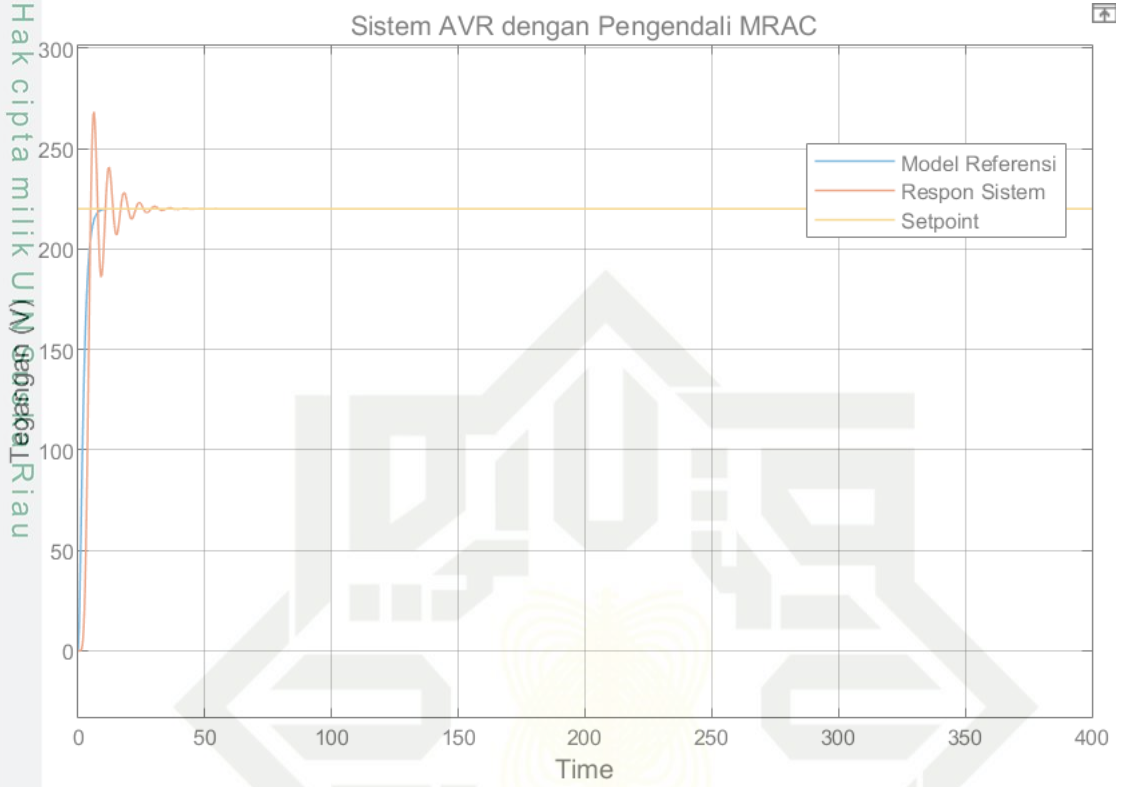
12. $\gamma = 0.000002$



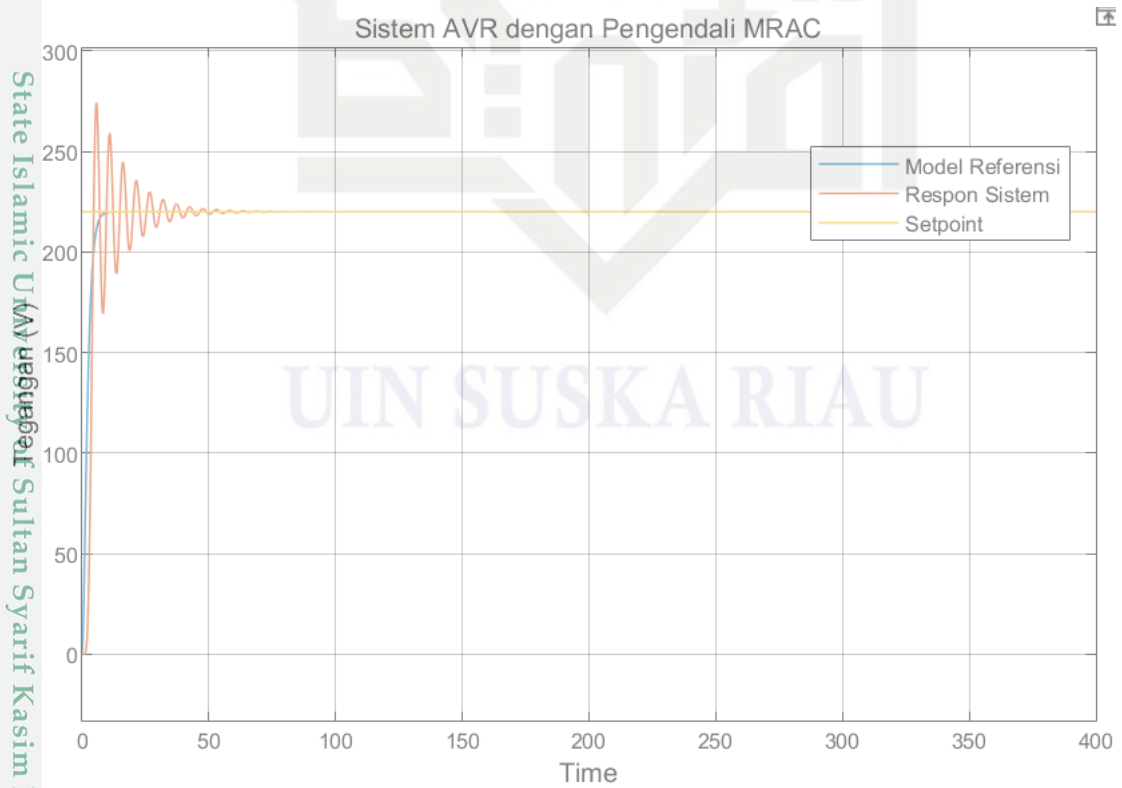
- Hak Cipta Diindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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



13. $\gamma = 0.000003$



14. $\gamma = 0.000004$



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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

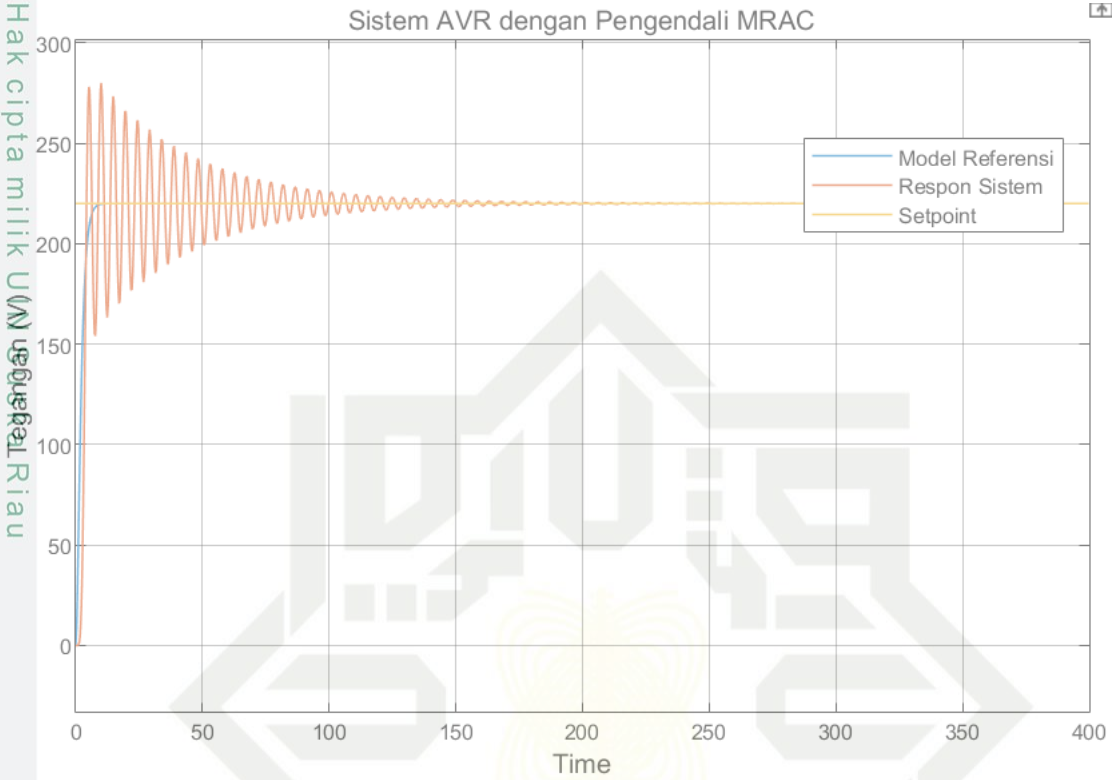
Hak cipta miilk U (A) UIN SUSKA RIAU

State Islamic U (A) UIN SUSKA RIAU

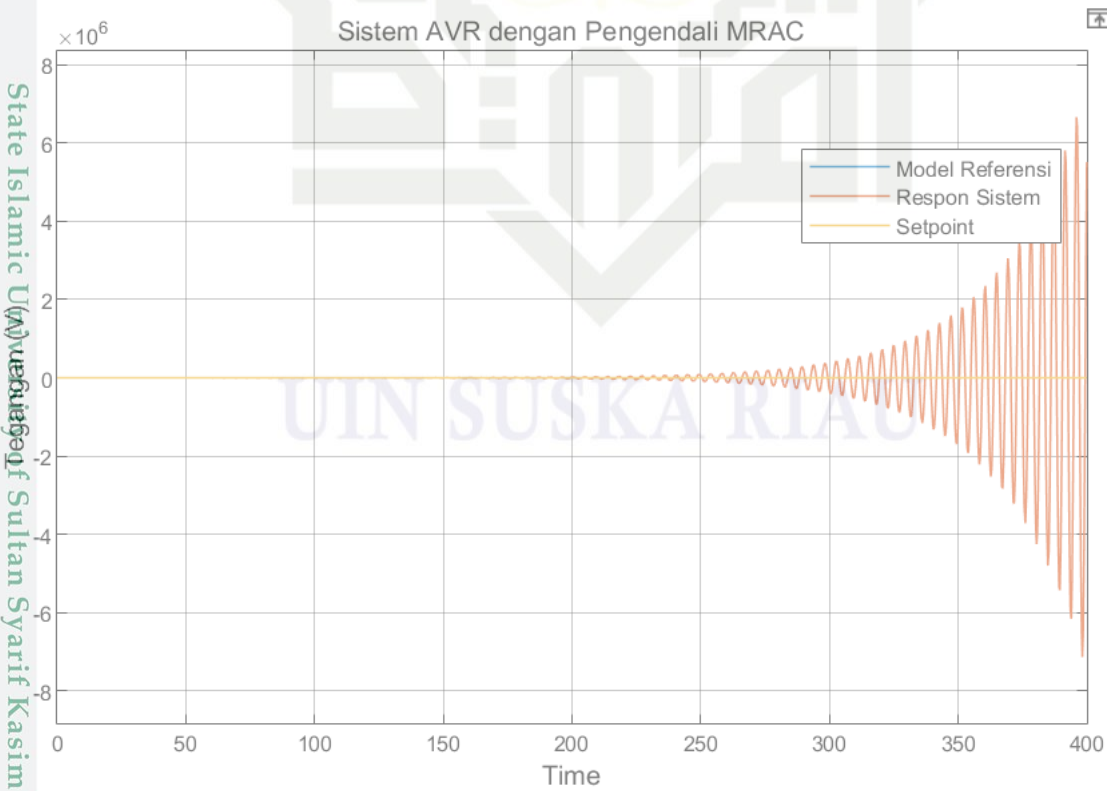
UIN SUSKA RIAU



15. $\gamma = 0.000005$



16. $\gamma = 0.000006$

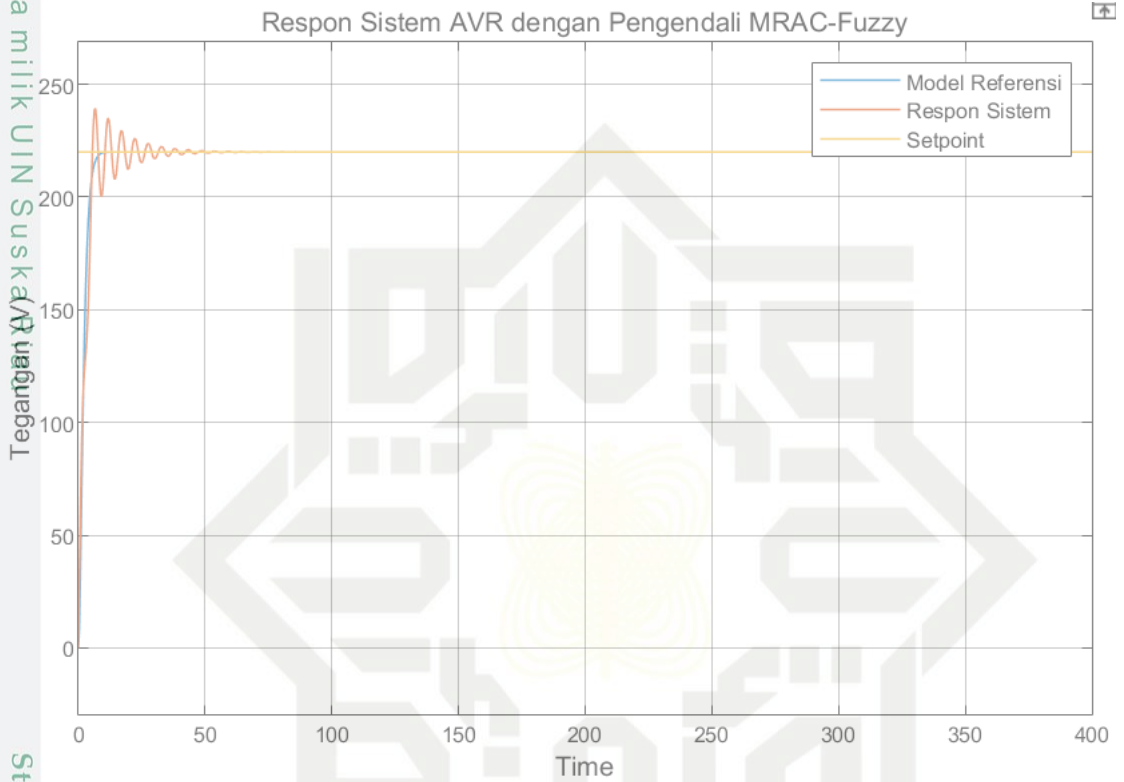


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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

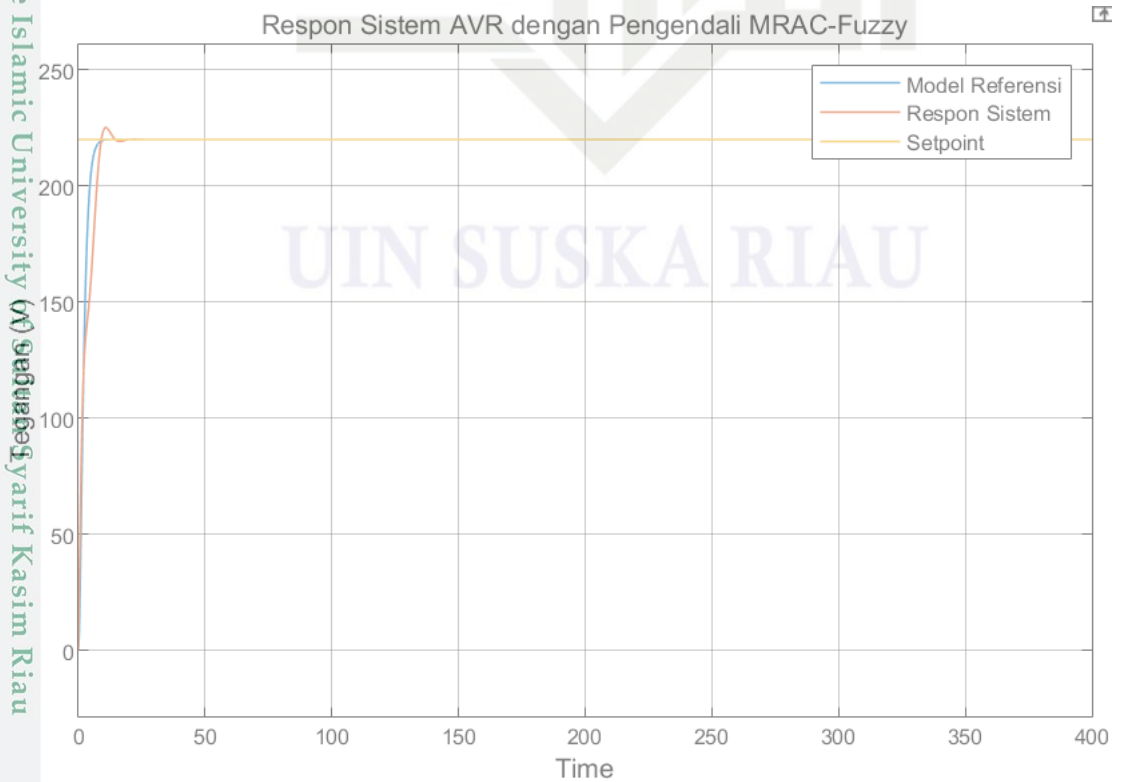
LAMPIRAN B

Prose Tuning Nilai Gamma (γ) pada Pengendali MRAC-Fuzzy

Gamma 0.000004



Gamma 0.000003



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

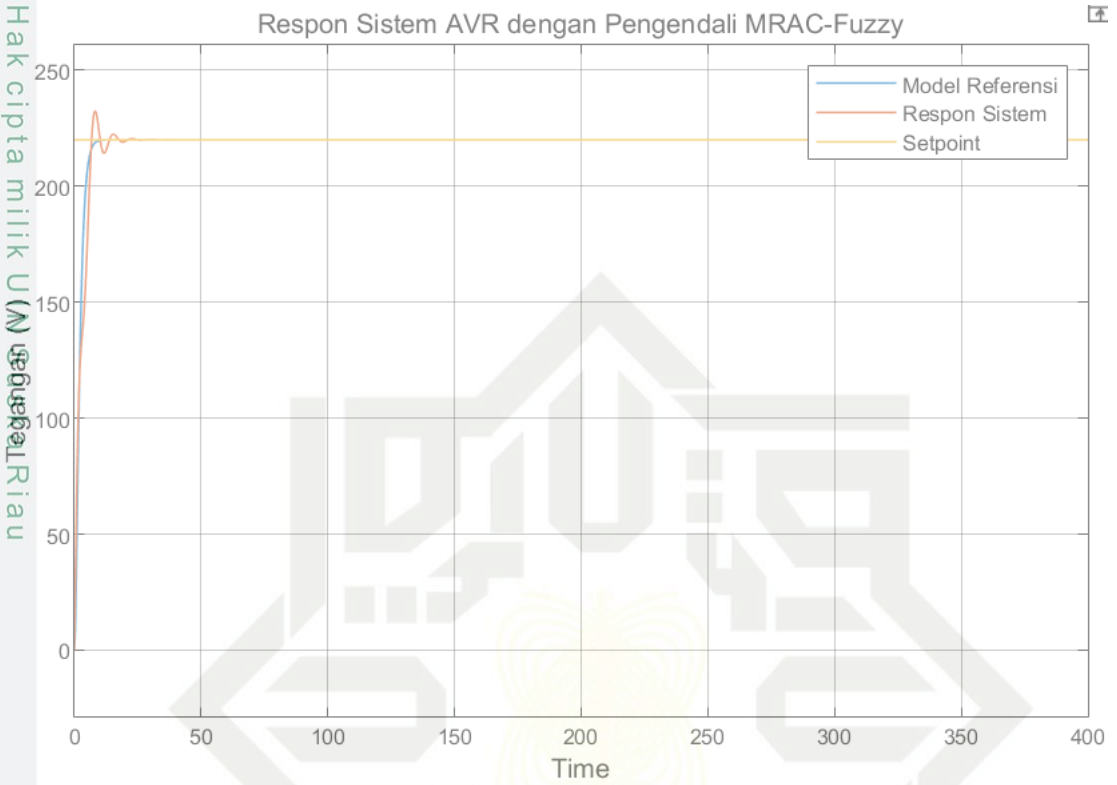
UIN SUSKA RIAU



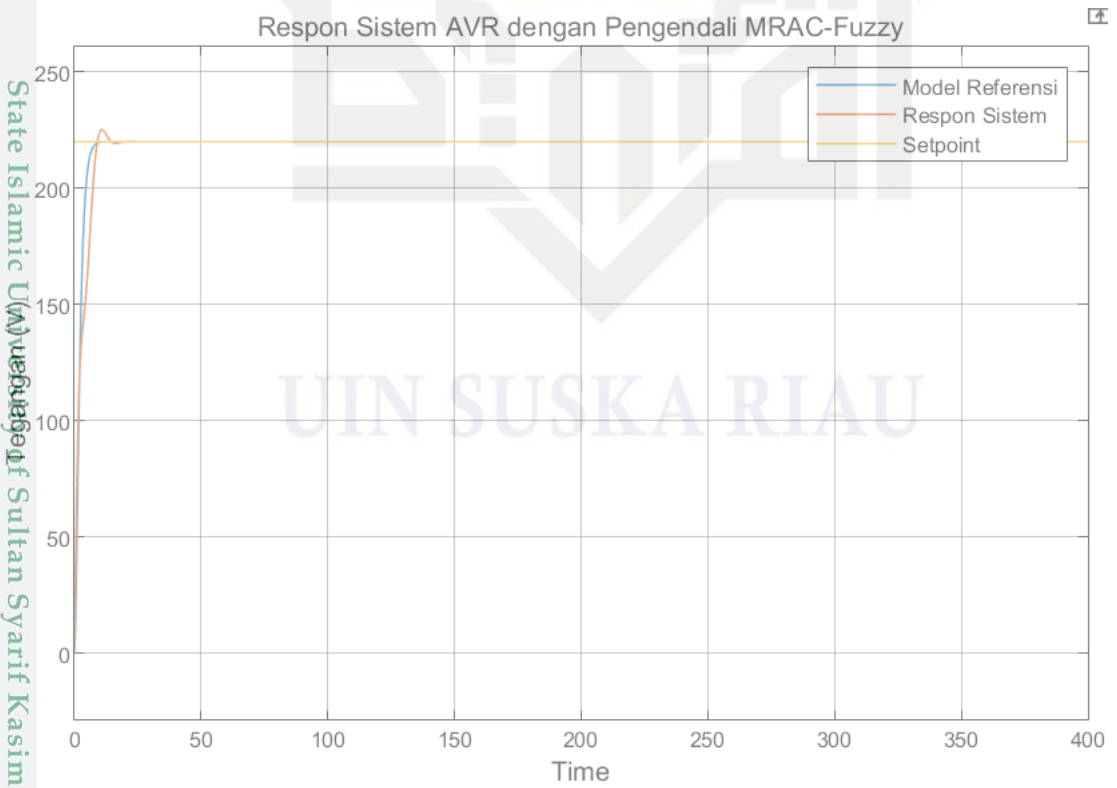
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

Gamma 0.000002



4. Gamma 0.000001



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.

