



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

TUGAS AKHIR

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



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

MAHATIR MUHAMMAD

11655100138

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

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



LEMBAR PERSETUJUAN

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

TUGAS AKHIR

oleh:

MAHATIR MUHAMMAD

11655100138

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 18 Januari 2023

Ketua Program Studi

Teknik Elektro

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

Pembimbing

Ahmad Faizal, S.T., M.T.
NIP. 19880630 201503 1 006

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 PENGESAHAN

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

TUGAS AKHIR

oleh:

MAHATIR MUHAMMAD

11655100138

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 18 Januari 2023

Pekanbaru, 18 Januari 2023

Mengesahkan,

Dekan

Ketua Program Studi

Teknik Elektro



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

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

Dewan Penguji :

Ketua : Jufrizel., S.T., M.T

Sekretaris : Ahmad Faizal, S.T., M.T.

Anggota 1 : Aulia Ullah., S.T., M.Eng

Anggota 2 : Hilman Zarory., S.T., M.Eng

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



LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

Hak Cipta Ditanggung-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 Surat :

Nomor : Nomor 25/2023

Tanggal : 31 Januari 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Mahatir Muhammad

NIM : 11655100138

Tempat/ Tgl. Lahir : Kuala Enok/ 23 Januari 1998

Fakultas/Pascasarjana : Sains dan Teknologi

Prodi : Teknik Elektro

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

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

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Proposal/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 disebarakan sebenarnya.
3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Proposal/Karya Ilmiah lainnya* saya ini, saya nyatakan bebas dan plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Proposal/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, 31 Januari 2023

Yang membuat pernyataan



Mahatir Muhammad

NIM : 11655100138

*Pilih Salah Satu Sesuai Jenis Karya Tulis

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



LEMBAR PERSEMBAHAN

"Dan Katakanlah: "Bekerjalah kamu, maka Allah dan Rasul-Nya serta orang-orang mu'min akan melihat pekerjaanmu itu, dan kamu akan dikembalikan kepada (Allah) Yang Mengetahui akan yang ghaib dan yang nyata, lalu diberitakan-Nya kepada kamu apa yang telah kamu kerjakan." (QS. At-Taubah : 105)

Usaha tidak akan menkhianati hasil walaupun banyak rintangan suatu saat pasti akan ada jalan, begitulah perjalanan perkuliahanku hingga aku mencapai kedepan pintu gerbang sarjana. Ini semua tidak akan terjadi kalau Allah tidak mengizinkan, maka semua rasa syukur ini kupersembahkan kepadamu ya Rabb.

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

Ya allah aku ini hanya hambamu yang lemah ya Allah, biarkanlah hambamu tetap menjadi hambamu yang selalu bertakwa ya allah, tidak ada yang pantas dipuji setinggi tingginya selainmu ya Allah maka dari itu luruskan niat hambamu ini ya Allah, jauhkanlah aku dari hal-hal yang tidak engkau ridhoi ya Allah, istiqomahkanlah hamba untuk tetap dijalanmu ya Allah..

Katakanlah (Muhammad), "Wahai manusia! Sesungguhnya aku ini utusan Allah bagi kalian semua. (QS. Al-A'raf: 158)

Nabi muhammad adalah suri tauladan yang baik, biarkanlah aku menjadi mengikut setia beliau ya Allah, beribu pengorbanan, air mata, dan darah beliau agar dapat mengangkat kalimat tauhid. Atas jasa beliau dan izin engkau kami dapat merasakan nikmat keislaman dan menjauhkan kami dari perbuatan jahiliyyah.

"Ridha Allah tergantung pada ridha orang tua dan murka Allah tergantung pada murka orang tua". (HR At-Tirmidzi: 1899, HR. Al-Hakim: 7249, Ath-Thabrani Al-Bazzar: 2394,

Hadis Hasan)

Ya Allah alasan aku bisa sampai ketahap ini berkat dukungan dan keridhoan-Mu dan orang tuaku ya Allah kuatkanlah hati mereka ya Allah, semoga keikhlasan hati mereka bernilai pahala disisimu ya Allah hingga kelak aku bisa membalas jasa-jasa mereka walaupun tidak sebanding dengan yang mereka berikanku.

Tahap selanjutnya akan lebih berat dari pada sebelumnya, berbekal dengan pelajaran dan pengalaman sebelumnya semoga kedepannya menjadi lebih baik,

Let the fun begin!

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



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

MAHATIR MUHAMMAD

11655100138

Tanggal Sidang :

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

JL. Soebrantas NO.155 Pekanbaru

ABSTRAK

Generator merupakan perangkat alternative yang menghasilkan energi listrik ketika terjadinya pemadaman listrik. Agar menghasilkan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan maka digunakan (*Automatic Voltage Regulator*) AVR. Maka di pilihlah pengendali MRAC karena kendali adaptif performansi keluaran sistem (proses) mengikuti performansi keluaran model referensinya. Namun pengendali MRAC menghasilkan osilasi dan overshoot pada sistem. Maka ditambahkan pengendali PID dalam mengatasi osilasi yang terjadi pada MRAC. Dalam penentuan nilai dari PID menggunakan metode heuristic dan di dapatkan K_p 0.1, K_i 0.0001, dan K_d 0.09. Dengan demikian pengendali MRAC-PID mampu menghasilkan performansi yang lebih baik dibandingkan pengendali MRAC serta meminimalkan osilasi yang di timbulkan pengendali MRAC. Hasil dari respon output pengendali MRAC-PID adalah $E_{ss} = 0$, *time delay* 3.3099 detik, *settling time* 7.0746 detik, *rise time* 3.7188 detik dan $M_p = 0\%$. Pada saat diberikan gangguan pengendali MRAC-PID dapat mempertahankan kestabilan pada sistem.

Kata Kunci : *Automatic Voltage Regulator*, generator, MRAC, PID

- 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.



CONTROL DESIGN HYBRID MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-PID TO CONTROL AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR

MAHATIR MUHAMMAD
STUDENT NUMBER: 11655100138

Date of Final Exam :

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology*

Syarif Kasim State Islamic University of Riau

Soebrantas Street , Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Generator is an alternative device that produces electrical energy when there is a power outage. In order to produce a voltage according to the needs, an AVR (Automatic Voltage Regulator) is used. So the MRAC controller was chosen because the adaptive control of the output performance of the system (process) follows the output performance of the reference model. But the MRAC controller produces oscillations and overshoots in the system. Then a PID controller is added to overcome the oscillations that occur in MRAC. In determining the value of the PID using the heuristic method and obtained K_p 0.1, K_i 0.0001, and k_d 0.09. Thus the MRAC-PID controller is able to produce better performance than the MRAC controller and minimize the oscillations caused by the MRAC controller. The results of the output response of the MRAC-PID controller are $E_{ss} = 0$, delay time 3.3099 seconds, settling time 7.0746 seconds, rise time 3.7188 seconds and $M_p = 0\%$. When a disturbance is given, the MRAC-PID controller can maintain stability in the system.

Keywords: *Automatic Voltage Regulator, generator, MRAC, PID*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak cipta milik UIN Suska Riau

Sultan Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Diarangi 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



Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Ahamdulillahi Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah swt, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul **“DESAIN KENDALI HYBIRD MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-PID UNTUK MENGENDALIKAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR”**. Shalawat beriringan salam semoga tetap tercurah kepada junjungan alam yakni Nabi Muhammad SAW. Proposal tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menyelesaikan Mata Kuliah **Tugas Akhir** di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Banyak sekali pihak yang telah membantu dalam menyusun proposal tugas akhir ini, baik secara moril maupun materil. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga besar yang telah mendoa'akan serta memberikan semangat dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Hairunas, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Plt
3. Bapak Dr. Drs. Hartono., B.A., M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim-Riau
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir.
5. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing serta memotivasi penulis hingga dapat menyelesaikan proposal tugas akhir
6. Bapak Jufrizel, ST. MT selaku ketua sidang, bapak Aulia Ullah, ST. M.Eng dan



Hak Cipta Dinindungi 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.

bapak Hilman Zarory., S.T., M.Eng selaku penguji yang telah menyempatkan dan meluangkan waktu ditengah kesibukan sehingga penulis bisa melewati proses demi proses dalam melaksanakan tugas akhir ini.

Bapak / Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam pelaksanaan tugas akhir ini.

Rekan-rekan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang juga turut memberikan dorongan semangat kepada penulis untuk dapat menyelesaikan proposal tugas akhir.

Penulis menyadari dalam penulisan proposal tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu penulis mengharapkan adanya masukan berupa kritik maupun saran dari berbagai pihak untuk kesempurnaan proposal ini.

Penulis berharap semoga proposal tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya. *Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.*

Pekanbaru,

Penulis

UIN SUSKA RIAU



DAFTAR ISI

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

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	1
2.1 Penelitian Terkait	1
2.2 Dasar Teori.....	2
2.2.1 <i>Automatic Voltage Regulator (AVR)</i>	2
2.2.2 Model Matematika <i>Automatic Voltage Regulator (AVR)</i>	2
2.3 Rancangan Pengendali	5
2.3.1 Model Reference Adaptive Control (MRAC)	5
2.3.2 MIT Rule	6
	x

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	Sistem Kendali PID	8
2.4.1	Pengendali Proportional (P)	8
2.4.2	Pengendali Integrative (I).....	9
2.4.3	Pengendali Derivative (D).....	9
2.5	Identifikasi Sistem.....	9
2.6	Metode Heuristik.....	10
2.7	Interpolasi Linier	11
2.8	Matlab (Matrix Laboratory)	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		1
3.1	Proses Alur Penelitian	1
3.2	Tahapan Penelitian	2
3.3	Pemodelan matematis.....	Error! Bookmark not defined.
3.4	Validasi Model Matematis	4
3.5	Perancangan Pengendali MRAC dengan Metode <i>MIT Rule</i>	5
3.6	Perancangan Pengendali MRAC-PID	9
3.7	Perancangan Pengendali MRAC-PID dengan Gangguan	11
3.8	Skenario penelitian.....	12
BAB IV HASIL DAN ANALISA		1
4.1	Gambaran Umum Analisa	1
4.2	Analisa Sistem <i>Automatic Voltage Regulator (AVR)</i> secara Open Loop.....	1
4.3	Analisa sistem <i>Automatic Voltage Regulator (AVR)</i> Dengan Pengendali MRAC6	
4.4	Analisa sistem <i>Automatic Voltage Regulator (AVR)</i> Dengan Pengendali MRAC PID	10
4.5	Analisa Kekokohan Pengendali MRAC-PID Dengan Adanya Gangguan.....	15
BAB V PENUTUP		1
5.1	KESIMPULAN	1
5.2	SARAN	1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A RANGKAIAN PENGENDALI PADA SIMULINK

LAMPIRAN B HASIL SIMULASI TUNNING GAIN MRAC

LAMPIRAN C HASIL SIMULASI TUNNING MRAC-PID

BIOGRAFI

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





DAFTAR GAMBAR

	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. Rangkaian Pengendali MRAC- PID Pada AVR.....	III-9
Gambar 3.7. Rangkaian Pengendali MRAC- PID Pada AVR.....	III-9
Gambar 3.8. Rangkaian Pengendali MRAC- PID Dengan Gangguan	III-12
Gambar 4.1. Rangkaian <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR) dengan <i>open loop</i>	IV-2
Gambar 4.2. Grafik keluaran <i>Automatic Voltage Regulator</i> (AVR) dengan <i>open loop</i> ...	IV-2
Gambar 4.3. Data <i>delay time</i> 50% secara <i>open loop</i>	IV-3
Gambar 4.4. Data <i>settling time</i> 98% secara <i>open loop</i>	IV-3
Gambar 4.5. Data <i>rise time</i> 5% secara <i>open loop</i>	IV-4
Gambar 4.6. Data <i>rise time</i> 95% secara <i>open loop</i>	IV-4
Gambar 4.7. Rangkaian pengendali MRAC pada <i>Automatic Voltage Regulator</i>	IV-6
Gambar 4.8. Respon pengendali MRAC pada <i>Automatic Voltage Regulator</i>	IV-6
Gambar 4.9. Data <i>delay time</i> 50% Pengendali MRAC	IV-7
Gambar 4.10. Data <i>settling time</i> 98% Pengendali MRAC	IV-8
Gambar 4.11. Data <i>rise time</i> 5% Pengendali MRAC	IV-8
Gambar 4.12. Data <i>rise time</i> 95% Pengendali MRAC	IV-9



Gambar 4.13. Rangkaian Pengendali MRAC- PID Pada AVR.....IV-10

Gambar 4.14. Respon MRAC-PID pada *Automatic Voltage Regulator* IV-11

Gambar 4.15. Data *delay time* 50% Pengendali MRAC IV-11

Gambar 4.16. Data *settling time* 98% Pengendali MRAC III-12

Gambar 4.17. Data *rise time* 5% Pengendali MRAC..... IV-13

Gambar 4.18. Data *rise time* 95% Pengendali MRAC..... IV-13

Gambar 4.19. Rangkaian Pengendali MRAC- PID Dengan Gangguan IV-15

Gambar 4.20. Respon MRAC-PID Saat Diberikan Gangguan IV-15

Gambar 4.21. Data *delay time* 50% Pengendali MRAC IV-16

Gambar 4.22. Data *settling time* 98% Pengendali MRAC IV-16

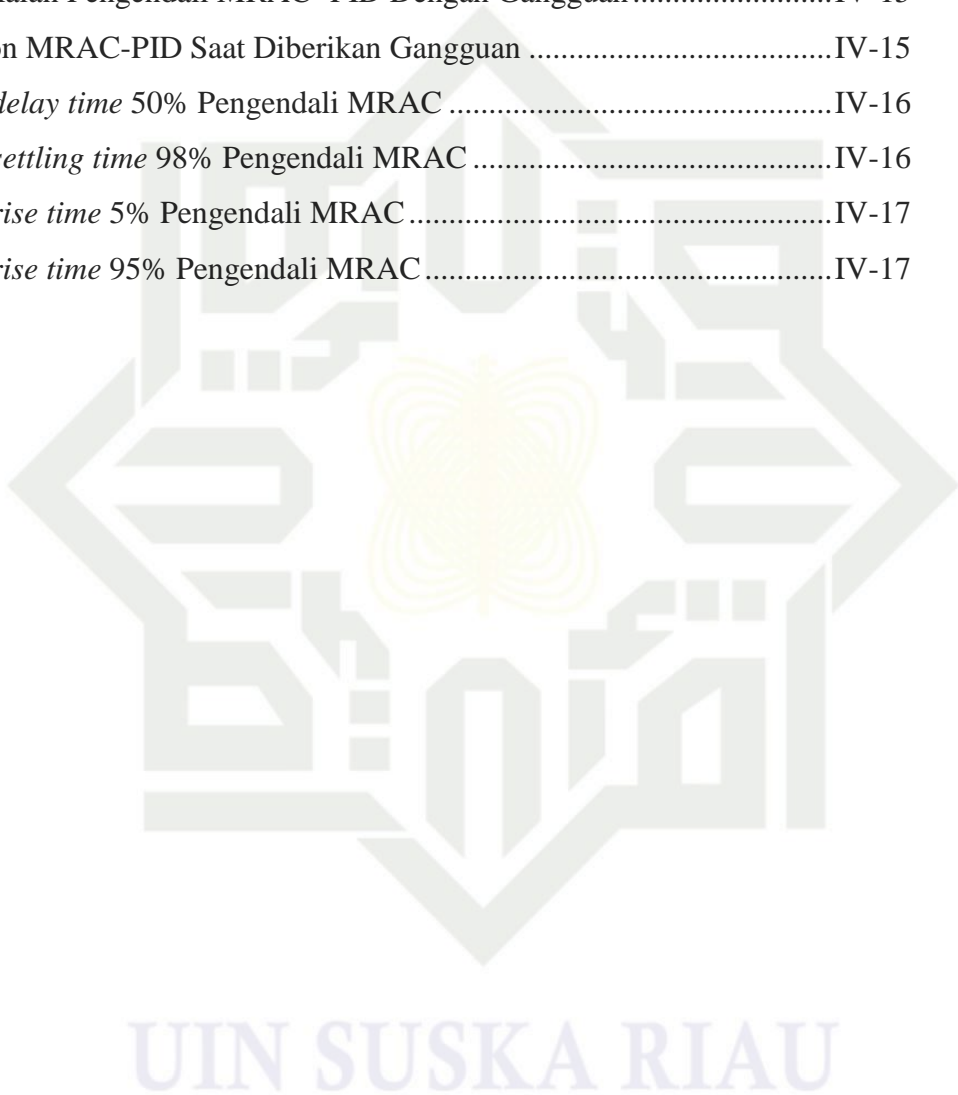
Gambar 4.23. Data *rise time* 5% Pengendali MRAC IV-17

Gambar 4.24. Data *rise time* 95% Pengendali MRAC..... IV-17

© Halcyon dan miliknya 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 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. Proses Penentuan Nilai K_p , K_i , Dan K_d	III-11
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. Respon waktu sistem dengan pengendali MRAC	IV-9
Tabel 4.3. Respon waktu sistem dengan pengendali MRAC-PID	IV-14
Tabel 4.4. Respon waktu sistem pengendali MRAC-PID dengan gangguan.....	IV-19
Tabel 4.5. Perbandingan respon waktu sistem dengan pengendali MRAC, MRAC-PID dan MRAC-PID dengan gangguan.....	IV-20

Hak Cipta Ilmiah

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



DAFTAR SINGKATAN

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



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta
Dilindungi Undang-Undang
DC
AVR
MRAC
td
tr
ts
Matlab
Mp
P
I
D

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 I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan yang pesat dalam bidang ketenagalistirikan sebagai dari tuntutan konsumen (*demand*) yang semakin meningkat menimbulkan konsekuensi tersendiri bagi penyedia jasa ketenagalistrikan. Oleh karena itu diperlukannya suatu pembangkit tenaga listrik yang kontinu sehingga dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Permasalahan utama dari pembangkit tenaga listrik adalah tenaga generator yang dihasilkan berubah-ubah sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan pada generator. Untuk mengantisipasi hal tersebut digunakan sebuah alat yang dapat mengatur tegangan keluar dari generator, yaitu dengan cara mengatur arus eksitasi secara otomatis tersebut menggunakan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) [1].

AVR adalah suatu perangkat yang dipasang pada generator yang bekerja secara otomatis mengatur tegangan yang dihasilkan agar tetap stabil [1]. Prinsip kerja dari *Automatic Voltage Regulator* (AVR) adalah mengatur arus penguat (*excitation*) pada eksiter. Apabila tegangan *output* generator di bawah tegangan nominal yang telah ditentukan operator, maka *Automatic Voltage Regulator* (AVR) akan memperbesar arus penguatan (*excitation*) pada eksiter. Hal ini berlaku sebaliknya, apabila tegangan *output* generator melebihi tegangan nominal, maka *Automatic Voltage Regulator* (AVR) akan mengurangi arus penguatan (*excitation*) pada eksiter. Setiap ketidakstabilan tegangan *output* generator akan distabilkan oleh *Automatic Voltage Regulator* (AVR) secara otomatis. Stabilitan dan kecepatan respon sistem merupakan hal yang perlu diperhatikan dari kerja sebuah *Automatic Voltage Regulator* (AVR), induktansi yang tinggi pada belitan medan generator akan menyebabkan sulitnya perubahan arus medan dalam rentang waktu yang singkat. Hal ini menyebabkan *lag* (keterlambatan) yang cukup besar dalam fungsi kontrol tegangan generator. Dengan demikian, diperlukan sebuah pengendali untuk mengendalikan tegangan pada AVR agar tetap berada pada keadaan stabil [2].

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*

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* [3].

Penelitian lain yang membahas *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dengan kombinasi fuzzy-PID. Metode yang digunakan untuk menentukan nilai PID yaitu metode *harmony search algortihm*. 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 [4].

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 [5]. 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 mengendali PID sehingga respon output yang didapatkan mencapai nilai *setpoint* tanpa adanya *overshoot*, *osilasi* dan *error steady state*.

Pengendali PID berperan untuk mengatasi kelemahan pengendali MRAC yang masih menimbulkan osilasi pada sistem, dimana pengendali kendali *proporsional* (P) mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kendali *integral* (I) mempunyai keunggulan untuk



memperkecil *error*, dan aksi kendali *derivative* (D) mempunyai keunggulan untuk memperkecil *overshoot* dan osilasi [6].

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan. Penulis akan mengkombinasikan pengendali MRAC-PID dalam menjaga kestabilan pada sistem *Automatic Voltage Regulator*. Maka penulis akan mengajukan judul Tugas Akhir yaitu “**DESAIN KENDALI HYBRID MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC)-PID 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 PID pada pengendali MRAC untuk menjaga *Automatic Voltage Regulator* dalam keadaan stabil?
3. Bagaimana performansi pengendali MRAC setelah ditambahkan PID 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 PID
3. Mengetahui hasil performansi ketika ditambahkan pengendali PID pada MRAC pada sistem *Automatic Voltage Regulator*

1.4. Batasan Masalah

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-PID untuk mengedalikan *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 *aero pendulum* dengan menggunakan pengendalu 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 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* [2].

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* [3].

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 [4].

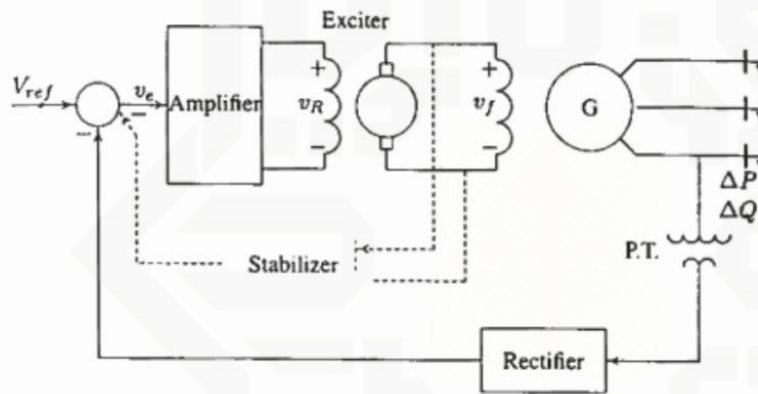
Berdasarkan pada hasil dari penelitian diatas yang telah dilakukan sebelumnya, dan hasil uji simulasi pra penelitian yang dilakukan pada pengendali MRAC didapatkan adanya osilasi dan *overshoot* pada sistem. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian

dengan penambahan PID agar dapat mengatasi osilasi dan overshoot pada sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR).

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 [2].



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 [7]. Fungsi alih *amplifier* yaitu [8] :

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

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 [9].

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

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



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

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

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

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 rproses magnetisasi, sedangkan tegangan terminal tergantung dari beban. Untuk model *linier* sebuah generator dapat didekati dengan sebuah sistem orde satu, dimana memiliki faktor penguatan dan konstanta waktu. Model generator dinyatakan pada persamaan :

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

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

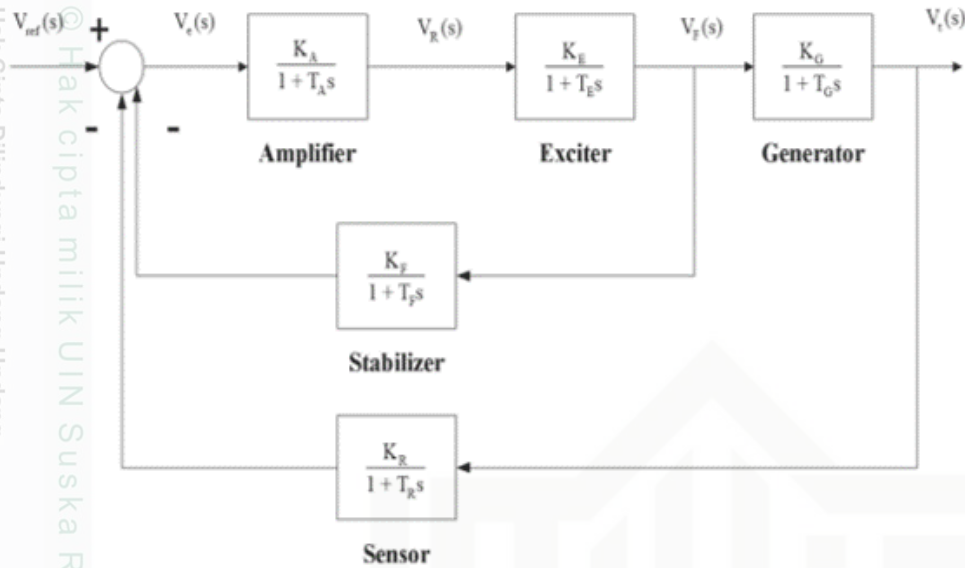
Tegangan terminal generator disensor menggunakan sebuah trafo tegangan, dan kemudian disearahkan melalui penyearah jembatan. Sensor ini dimodelkan dalam sistem orde satu yaitu :

$$\frac{V_s(s)}{V_t(s)} = \frac{K_R}{1+\tau_R s} \quad (2.4)$$

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

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2.2 Model sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR) konvensional [10]

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 [8] :

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

Sehingga fungsi alih pada persamaan 2.5 dapat disederhanakan sebagai berikut :

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

Tabel 2.1 spesifikasi sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR) [3]

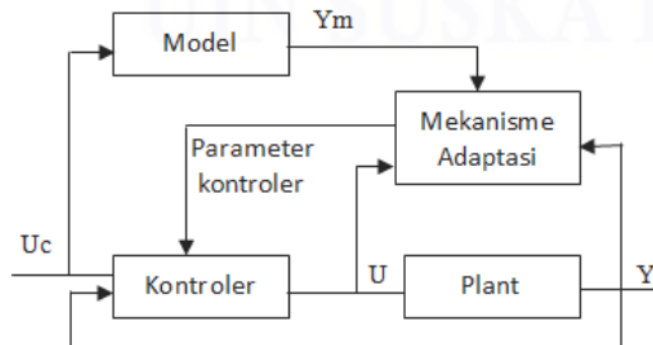
No.	Parameter		Spesifikasi
1.	Ka	Amplifier	10.00
2.	Ta	Konstanta waktu Amplifier	0.100
3.	Ke	Exciter	1.000
4.	Te	Konstanta waktu Exciter	0.400
5.	Kg	Generator	1.000
6.	Tg	Konstanta waktu Generator	1.000
7.	Kr	Sensor	1.000

2.3 Rancangan Pengendali

2.3.1 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 [5]. 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* [5].

2.3.2 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*, *output* proses dinotasikan sebagai *y*. *Error* merupakan selisih antara keluaran *y* dari sistem *loop* tertutup dan keluaran dari model *y_m*. *Error* dinotasikan sebagai *e*. Pengaturan parameter dilakukan dengan meminimalkan fungsi kerugian (*The loss function, J(θ)*) [11]:

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

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 [12].

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

Hal-Sipin-Di-Undang-Urang
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.

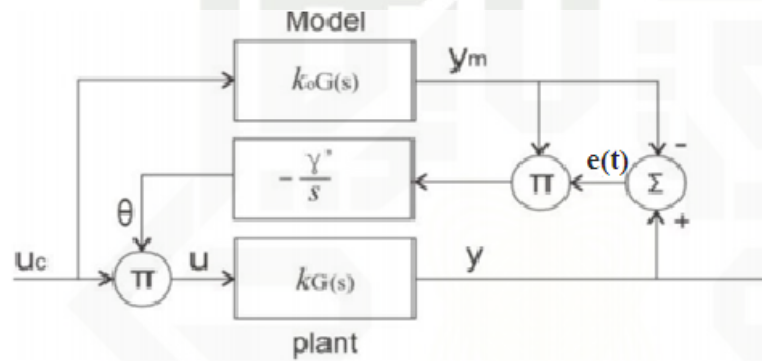
$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = kG U_c = k * \frac{y_m}{k_0} = \frac{k}{k_0} y_m \quad (2.11)$$

Terakhir MIT Rule diterapkan untuk update parameter θ sebagai berikut

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

$$\theta = \int (-\gamma' y_m e) dt \quad (2.13)$$

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



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 [11]:

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

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 ts. Dalam pembuatan model nilai ts 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

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

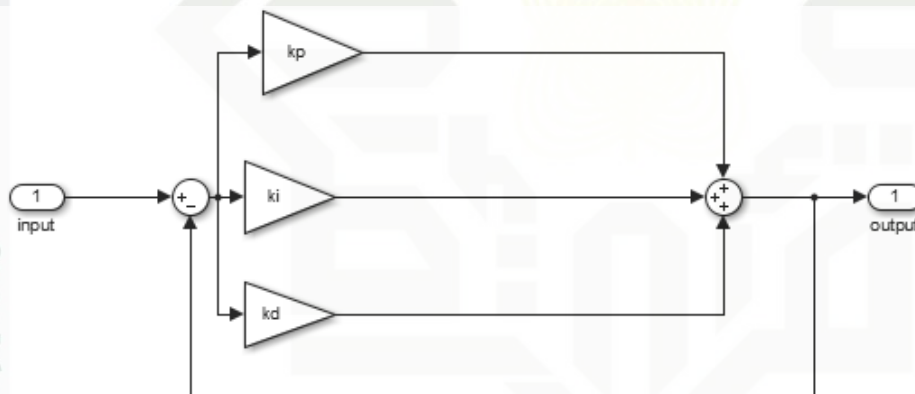
Daerah 5% mengikuti persamaan

$$(2.16)$$

2.4 Sistem Kendali PID

Pengendali PID adalah pengendali paling umum digunakan pada industri seperti pada mesin cuci, mesin pompa air, sepeda motor, dll. Menurut survey, 97% mesin industri yang berkecimpungan dalam pengolahan industri menggunakan sistem pengendali PID sebagai pengendali utamanya [13]. Alasan menggunakan pengendali PID adalah karena algoritmanya sederhana sehingga mudah dipakai dan diimplementasi pada alat industri.

Sistem kendali *Proportional-Integrative-Derivative Controller* (PID) merupakan pengendali yang digunakan untuk menentukan presisi pada suatu sistem pengukuran dengan adanya umpan balik pada *setpoint* sistem tersebut. Pengendali PID mempunyai 3 komponen pengendali utama yaitu : kendali *Proportional* (P), *Integrative* (I), *Derivative* (D) yang memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri dan dapat saling membantu dalam mengerjakan suatu sistem.



Gambar 2.5 Blok Diagram Pengendali PID

2.4.1 Pengendali Proportional (P)

Pengendali proporsional sering di simbol dengan P pada sistem kendali PID. Kontribusi pengendali P pada sistem, yaitu dapat menambah atau mengurangi tingkat kestabilan sistem, dapat menaikkan *rise time* dan setting time pada respon *transient* dan juga pengendali P dapat mengurangi *steady state error* sistem yang mana apabila kita menginginkan mengurangi error maka kita harus menaikkan nilai K_p -nya sehingga nilai k_p -nya besar semakin tinggi nilai K_p -nya maka semakin berkurang errornya tapi dengan menaikkan nilai K_p maka sistem menjadi tidak stabil [14]. Pengendali P ini akan



memberikan pengaruh langsung pada sistem yang sebanding dengan error. Adapun kekurangannya apabila apabila pengendali P terlalu tinggi maka semakin tinggi *overshoot* yang dihasilkan dan respon sistem akan berosilasi.

Persamaan pengendali proporsional sebagai berikut:

$$u(t) = Kp e(t) \quad (2.14)$$

2.4.2 Pengendali Integrative (I)

Pengendali integral biasanya disimbolkan dengan I pada pengendali PID. Pengendali I berfungsi untuk menghilangkan *steady state error* pada sistem sehingga respon sistem tidak mengalami osilasi. Dengan menggunakan hanya pengendali P sistem kadang tidak mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan maka dari itu dibantu dengan pengendali I. Kekurangan dari pengendali I adalah apabila nilai I terlalu tinggi maka membuat ketidakstabilan dalam sistem dan *overshoot* yang tinggi, dan juga pengendali I tidak bisa berdiri sendiri dengan artian pengendali I harus dibarengi dengan pengendali P [15].

Persamaan pengendali integrative sebagai berikut:

$$u(t) = Kie(t)dt \quad (2.15)$$

2.4.3 Pengendali Derivative (D)

Pengendali Derivatif biasanya disimbolkan dengan D. Besar *output* dari pengendali derivatif memiliki sifat seperti operasi diferensial pada umumnya. Pengontrol derivatif menggunakan kecepatan perubahan sinyal kesalahan sebagai parameter pengendali. Apabila tidak ada perubahan sinyal *error*, maka *output* dari pengendali derivatif tidak akan berubah. Pengendali D berfungsi sebagai penurun *overshoot* dan meningkatkan kestabilan pada sistem [15]. Kekurangan dari pengendali D adalah pengendali membuat *rise time* sistem semakin lama dan pengendali D tidak bisa berdiri sendiri.

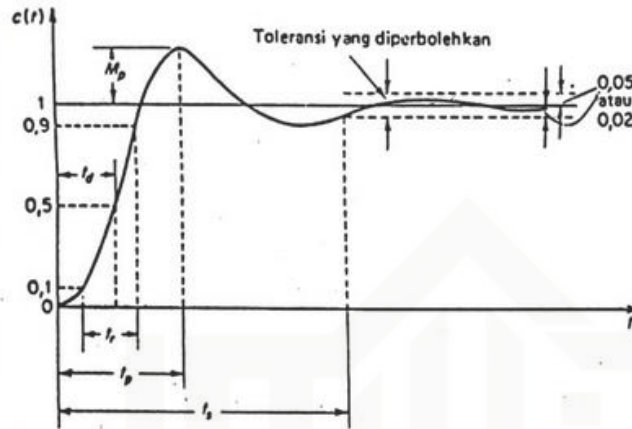
Persamaan pengendali derivative sebagai berikut:

$$u(t) = Kd \frac{du}{dt} e(t) \quad (2.16)$$

2.5 Identifikasi Sistem

Respon sistem adalah perubahan perilaku output terhadap perubahan sinyal input. Respon sistem ini berupa kurva yang akan menjadi dasar untuk menganalisa karakteristik

sistem dengan menggunakan persamaan atau model matematis. Bentuk kurva respon sistem ini dapat dilihat setelah mendapatkan sinyal input. Sinyal input yang diberikan untuk mengetahui karakteristik sistem disebut dengan sinyal test [16].



Gambar2.6 Respon waktu orde 2

a. Waktu tunda (delay time)

Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.

b. Waktu naik (rise time)

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

c. Waktu puncak

Waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali

d. Maximum Overshoot (M_p)

Maximum overshoot adalah harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu. Jika harga keadaan tunak respon tidak sama dengan satu, maka biasa digunakan persen lewatan maksimum. Parameter ini didefenisikan sebagai berikut :

$$\% \text{ maximum Overshoot} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2.17)$$

e. Waktu penetapan (settling time)

Settling time adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetapkan dalam daerah sekitar harga akhir yang ukurannya dengan persentase mutlak dari harga akhir (5% atau 2%)

2.6 Metode Heuristik

Sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristik adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara

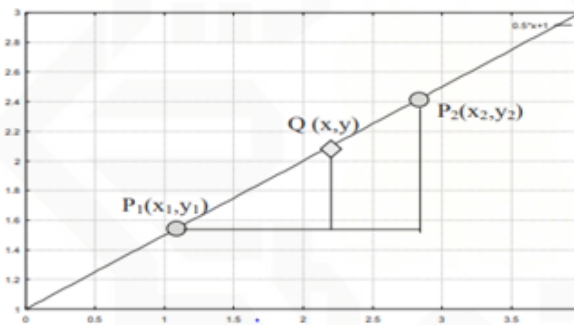
Hal ini Diilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan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



penalaan. Rancangan metode heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan. Untuk perancangan sistem pengendalian PD dilakukan pencarian nilai besar K_p dan T_d . Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (metode heuristik) dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P kemudian baru ditambahkan pengendali D. Pemberian nilai ini di sesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh [17].

2.7 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 :

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

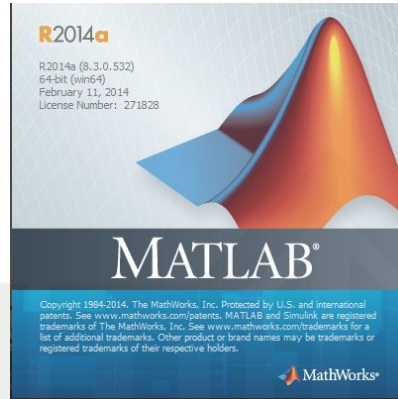
Algoritma Interpolasi Linier adalah sebagai berikut :

1. Tentukan dua titik P_1 dan P_2 dengan koordinasi masing-masing (x_1, y_2) 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 $Q(x, y)$



2.8 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 [18].



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 [18].

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

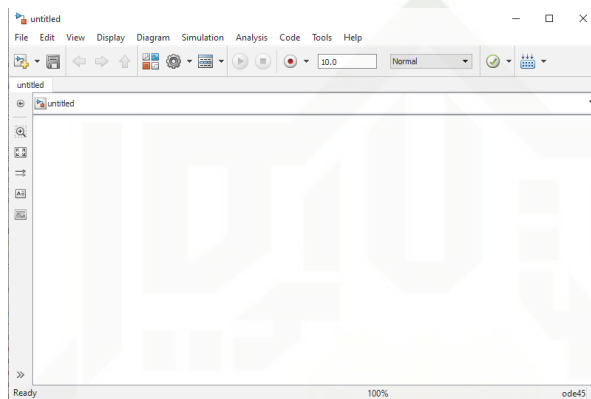
1. *Command window* digunakan untuk mengetik fungsi yang diinginkan.
2. *Current Directory* berfungsi untuk menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab
3. *Command history* berfungsi yang telah digunakan sebelumnya dapat kembali.
4. *Workspace* digunakan untuk membuat variabel yang ada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

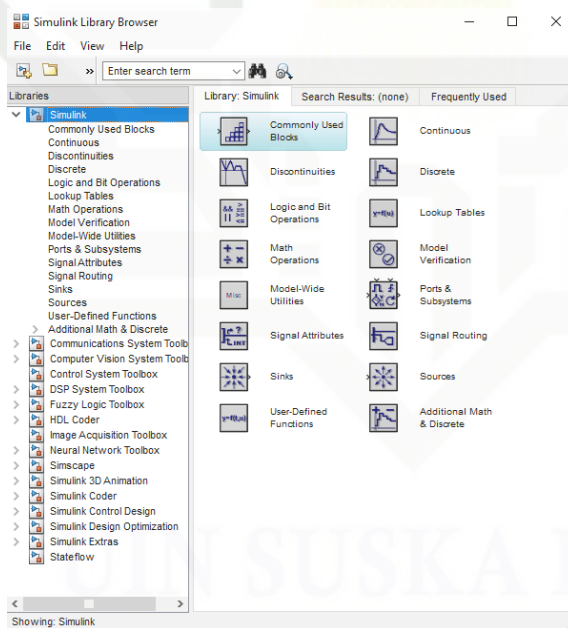
Simulink adalah salah satu bagian dari Matlab program dimana *simulink* dapat digunakan untuk mensimulasi sistem, dalam artian mengamati dan menganalisa perilaku

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

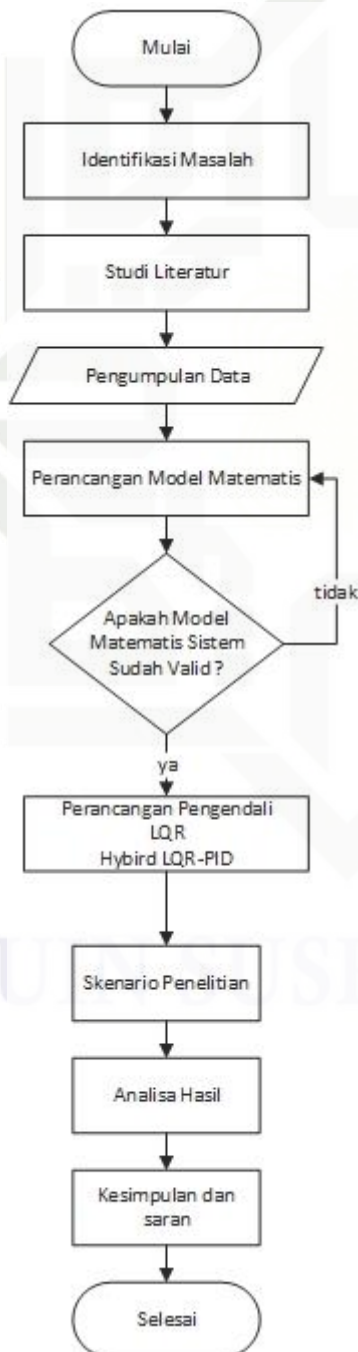
1. Diilinduri Undang-Undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian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

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 :



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Berdasarkan *Flowchart* diatas, dalam penelitain 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 PID

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 :

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

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 PID. Untuk merancang pengendali MRAC, terlebih dahulu dilakukan penurunan matematis pengendali MRAC. Selanjutnya melakukan perancangan pengendali PID dan mengkombinasikan pengendali MRAC dengan pengendali PID

7. Skenario Penelitian

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
The Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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

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:

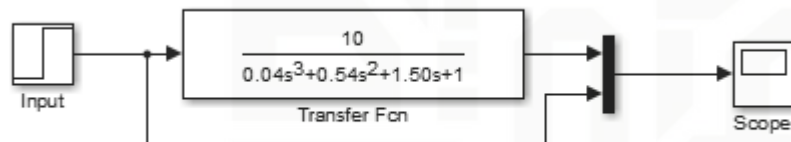
$$G(s) = \frac{K_A}{(1+T_A s)(1+T_E s)(1+T_G s)}$$

diketahui nilai K_A , T_A , T_E , dan T_G . selanjutnya memasukkan nilai tersebut kedalam fungsi alih sebagai berikut :

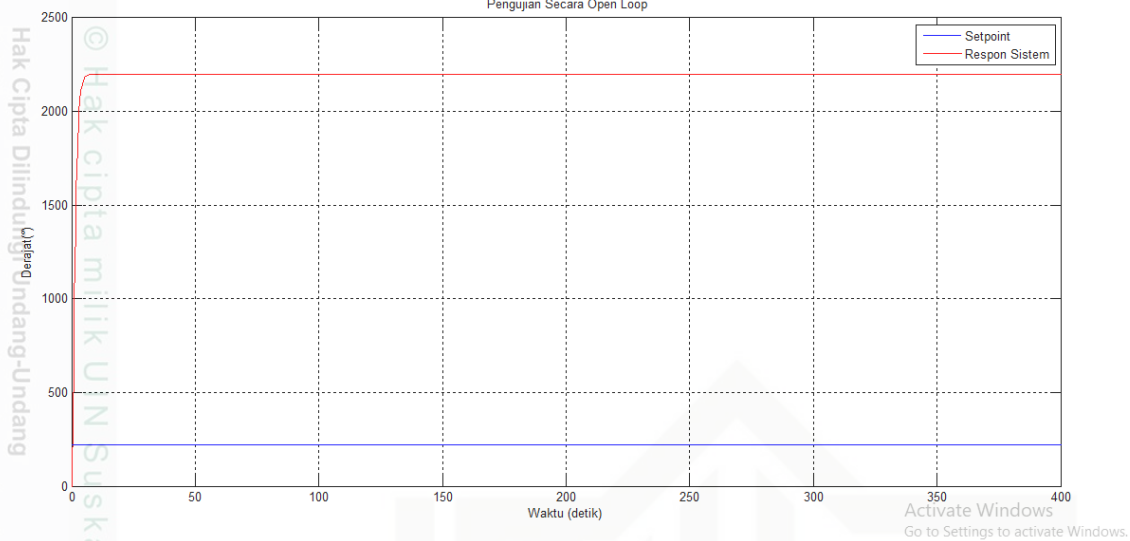
$$G(s) = \frac{10}{0.04 s^3 + 0.54 s^2 + 1.50 s + 1} \quad (3.1)$$

3.4 Validasi Model Matematis

Untuk menvalidasikan 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 220 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*



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 :

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

Untuk memperoleh ω_n digunakan persamaa 2.15 :

Nilai t_s didapatkan menggunakan respon dari open loop

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

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

$$\omega_n = \frac{4}{(4.54)(1)}$$

$$\omega_n = \frac{4}{4.54}$$

$$\omega_n = 0.881$$

Hak Cipta Diinindungi Undang-Undang
 Hak Cipta milik UIN Suska Riau
 © Hak Cipta milik UIN Suska Riau
 1. Diarangi 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. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dengan *settling time* sebesar 4.54 yang didapatkan dengan cara simulasi *open loop*.

Dengan besarnya nilai $\zeta = 1$ sehingga menghasilkan nilai $\omega_n = 0.881$ yang didasarkan pada kriteria 2% untuk nilai *settling time*, maka fungsi alih model matematisnya menjadi :

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

$$G_m(s) = \frac{(0.881)^2}{s^2 + 2(1)(0.881)s + (0.881)^2}$$

$$G_m(s) = \frac{0.776}{s^2 + 1.762s + 0.776}$$

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

$$G_m(s) = \frac{0.776}{s^2 + 1.762s + 0.776}$$

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

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

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\gamma' \frac{0.776}{s^2 + 1.762s + 0.776}$$

$$\theta = \frac{1}{2} - \gamma' \frac{0.776}{s^2 + 1.762s + 0.776}$$

Selanjutnya menggunakan aturan MIT untuk mendapatkan metode penyesuaian parameter

θ Ketika y_{plant} tidak diketahui dengan persamaan 2.08, Adapun penjabarannya didefinisikan sebagai berikut :

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

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

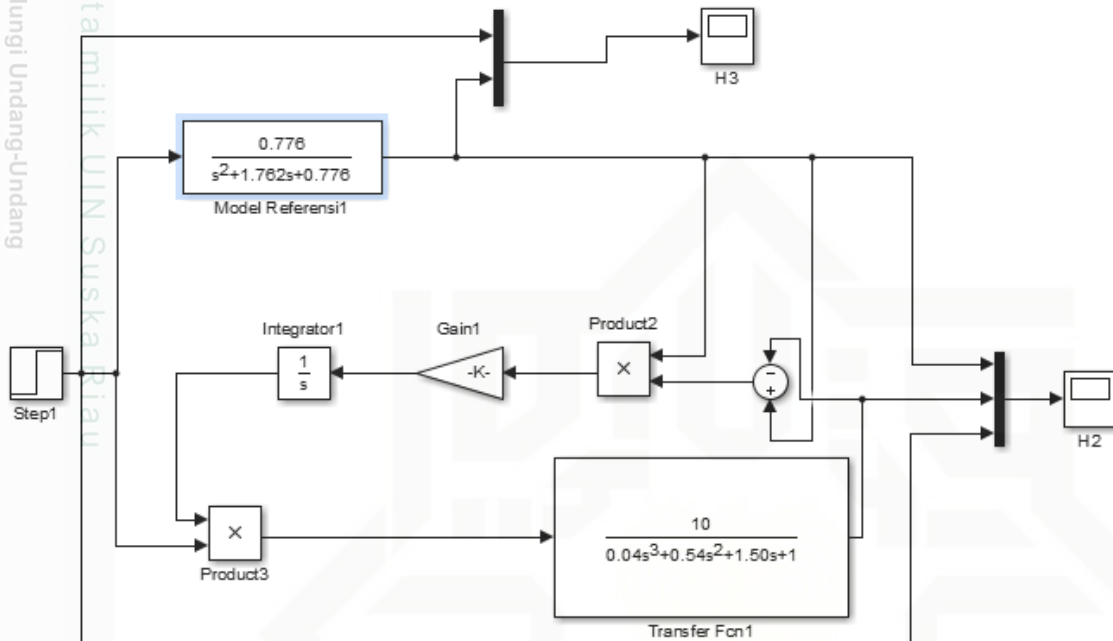
$$y_{plant} \left(\frac{10}{0.04 s^3 + 0.54 s^2 + 1.50 s + 1} \right) u_c$$

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.

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

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

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

Dalam pencarian nilai γ dilakukan dengan metode heuristic, yang diawali dengan nilai terkecil hingga mendapatkan nilai γ yang baik. Dengan demikian diawali dengan nilai terkecil yaitu 0.000000001 menghasilkan rise time 355.6327 dan error steady state 181.6581. maka nilai γ di naik secara perlahan dengan penambahan nilai 3 pemberian 0.0000003 terjadinya perubahan respon waktu dengan rise time 353.9573 dan error steady state 123.7534, pada nilai γ 0.0000009 mendekati model referensi dengan rise time 63.5807. maka nilai γ divariasikan sampai mendapatkan nilai mendekati model referensi. Pada nilai γ 0.000003 dengan overshoot 21.8525% dan error 0. Adapun pencarian γ seperti tabel 3.2 berikut :

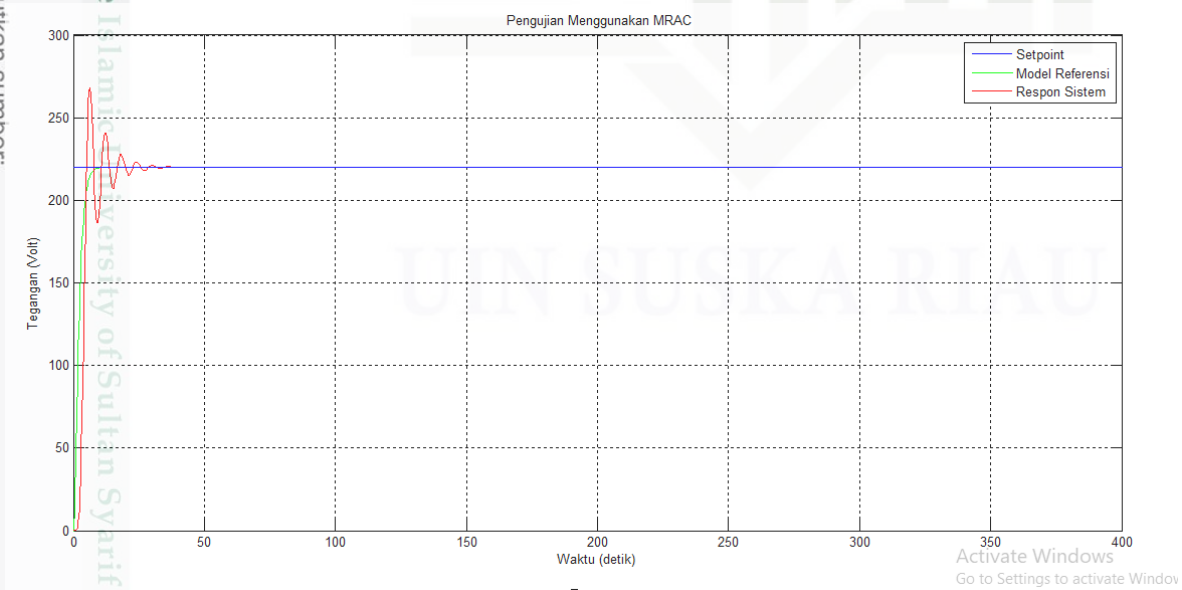
Tabel 3.2 Proses Penentuan Nilai γ

No.	Nilai Gamma	Rise time	Overshoot %	Error Steady State
1	0.000000001	355.6327	0	181.6581

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

2	0.000000003	353.9573	0	123.7534
3	0.000000006	348.3712	0	69.4383
4	0.000000009	338.0004	0	38.863
5	0.00000003	194.8838	0	0.6209
6	0.00000006	97.2037	0	0.0013
7	0.00000009	63.5807	0	0
8	0.0000003	16.7309	0	0
9	0.0000006	7.4078	1.3025%	0
10	0.0000009	5.2093	5.7864%	0
11	0.000003	2.68	21.8525%	0

Pada pemberian γ 0.000003 menunjukkan hasil respon sudah mendekati model matematis namun, pada γ 0.000003 terjadinya osilasi sehingga pengendali tidak dapat mempertahankan dalam keadaan stabil. Oleh karena itu, untuk membantu kelemahan dari pengendali MRAC maka, ditambahkan PID untuk meredam osilasi. Berikut ini hasil respon dari pengendali MRAC dengan nilai γ 0.000003:

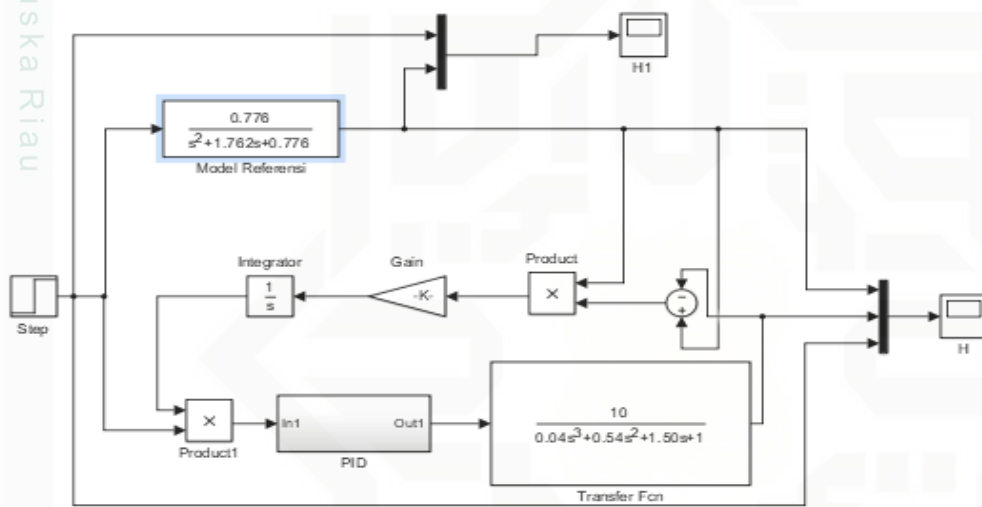


Gambar 3.5 Hasil Respon Pengendali MRAC Pada AVR

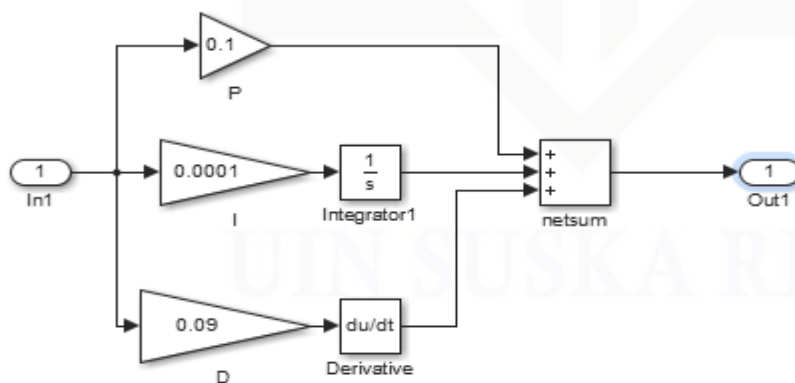
3.6 Perancangan Pengendali MRAC-PID

Setelah mempelajari desain pengendali MRAC maka langkah selanjutnya dapat dilakukannya penggabungan antara pengendali optimal MRAC dengan pengendali PID agar kinerja dari pengendali MRAC menjadi optimal dan lebih baik.

Nilai parameter PID pada saat melakukan tuning menggunakan metode heuristik, didapatkan nilai $K_p = 0.1$, $K_i = 0.0001$ dan $K_d = 0.09$. Blok diagram untuk desain pengendali MRAC-PID pada sistem *Automatic Voltage Regulator (AVR)* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.6 Rangkaian Pengendali MRAC- PID Pada AVR



Gambar 3.7 Rangkaian Pengendali MRAC- PID Pada AVR

Dalam *hybrid* pengendali MRAC-PID belum diketahui berapa nilai untuk P, I dan D. Maka untuk mendapatkan nilai P, I dan D maka dilakukan dengan penalaan menggunakan metode heuristik. Pada penalaan untuk mendapatkan nilai PID, maka gain 0.00003 dan

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

setpoint bernilai 220 volt. Berikut ini tabel penalaan pengendali MRAC-PID menggunakan metode heuristic :

Tabel 3.3 Proses Penentuan Nilai Kp, Ki, Dan Kd

Setpoint (Volt)	Uji Metode Heuristic			Rise Time (detik)	Settling Time (detik)	Error Steady State
	Kp	Ki	Kd			
220	0.02	-	-	7.4078	11.3372	2.8655
	0.04	-	-	4.282	7.1509	21.4919
	0.06	-	-	3.4027	5.9971	34.1638
	0.08	-	-	2.953	5.3683	42.447
	0.10	-	-	2.68	4.9743	48.0755
	0.12	-	-	2.4872	4.6914	52.3554
	0.03	0.00002	-	5.1969	8.3517	13.1049
	0.05	0.00004	-	3.749	6.4455	28.7097
	0.07	0.00006	-	3.1402	5.6307	39.1089
	0.09	0.00008	-	2.8042	5.1479	45.5903
	0.11	0.0001	-	2.5729	4.8198	50.0218
	0.13	0.00012	-	2.4033	4.5762	53.3477
	0.01	-	0.01	19.865	28.6864	0
	0.03	-	0.02	6.4916	9.8351	0
	0.05	-	0.04	4.795	7.5014	0
	0.07	-	0.06	4.1239	6.6891	0

1. Dilarang menjiplak 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 mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

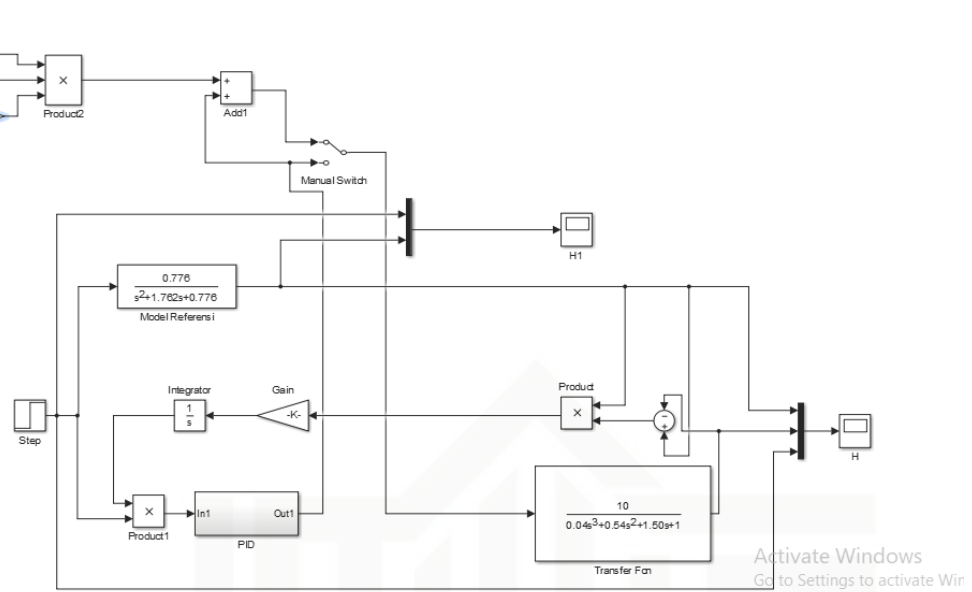
Hak Cipta Diindungi Undang-Undang	© Hak cipta milik UIN Suska Riau	0.09	-	0.08	3.8072	6.7541	0
		0.11	-	0.1	3.711	7.2462	0
		0.01	0.001	0.005	8.6827	12.3085	0
		0.02	0.0008	0.008	6.7455	9.9594	0
		0.04	0.0006	0.01	4.179	7.0087	0
		0.06	0.0004	0.03	3.8761	6.2316	0
		0.08	0.0002	0.06	3.6983	5.99	0
		0.1	0.0001	0.09	3.3099	7.0746	0

Pada tabel di atas di lakukan pengujian dengan metode heuristic untuk mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd. Pada pengujian pertama menggunakan pengendali Kp tanpa Ki dan Kd, hasil yang di dapatkan dari pengendali P yaitu dapat mempercepat hasil keluaran menuju setpoint. Dan saat pengujian Kp dengan Ki, menghasilkan rise time yang cepat yaitu 2.4033 detik. Akan tetapi Kp dan Ki menghasilkan overshoot yang tinggi dan masih memiliki osilasi. Pengujian Kp dengan Kd menghasilkan keluaran rise time yang 3.711 dan tidak memiliki overshoot ataupun osilasi. Saat penggabungan Kp, Ki dan Kd menghasilkan rise time yang lebih cepat di bandingkan dengan P dan D yaitu 3.3099 detik, serta tidak memiliki overshoot maupun osilasi.

3.7 Perancangan Pengendali MRAC-PID dengan Gangguan

Untuk mengetahui performa pengendali MRAC-PID dalam mengatasi gangguan pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) yang dimana gangguan pada motor didefinisikan sebagai perubahan tegangan naik dan tegangan turun. Gangguan yang diberikan sebesar 10% dari *setpoint* dan sinyal gangguan akan diberikan pada detik ke 0.42, kemudian menganalisa dampak dan perubahan respon sistem dari pengendali tersebut. Berikut ini adalah blok diagram pengendali LQR-PD saat diberikan sinyal gangguan :

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang



Gambar 3.7 Rangkaian Pengendali MRAC- PID Dengan Gangguan

3.8 Skenario penelitian

Pada skenario penelitian pada model sistem harus disimulasikan dengan beberapa skenario (minimal 3 skenario), dimana masing-masing skenario menghasilkan satu grafik respon keluaran. Penelitian ini menggunakan pengendali *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) dan memasukkan data-data yang telah didapatkan pada pemodelan matematis sebelumnya ke dalam program matlab. Berdasarkan parameter untuk pemodelan matematis pada penelitian terkait menggunakan nilai *setpoint* yang telah ditentukan. Adapun skenario penelitian yang dilakukan yaitu :

1. Simulasi sistem secara open loop
2. Simulasi menggunakan pengendali MRAC
3. Simulasi menggunakan pengendali MRAC-PID
4. Simulasi menggunakan pengendali MRAC-PID dengan gangguan 10% dari setpoint

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

BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan Analisa respon sistem yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa pengendali MRAC menghasilkan respon keluaran berupa osilasi pada *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Dengan kombinasi MRAC-PID dapat menghilangkan osilasi yang ada pada pengendali MRAC, dan dengan kombinasi MRAC-PID untuk mengendalikan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* mampu menghasilkan respon sistem yaitu *time delay* 3.3099 detik, *rise time* 3.7188 detik, *settling time* 7.0746 detik. Saat diberikan gangguan, pengendali MRAC-PID mampu mempertahankan kekokohannya terhadap gangguan yang di berikan.

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, untuk penelitian selanjutnya bisa digunakan dengan pengendali yang berbeda. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai PID yaitu metode heuristic, sehingga dalam proses *tunning* membutuhkan waktu yang sangat lama sehingga, untuk proses penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan pengendali seperti JST, MPC, dan lain lain agar dapat dilakukan perbandingan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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



DAFTAR PUSTAKA

- © Hak Cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- [1] Ali, Muhammad, "*Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab*", Universitas Negeri Yogyakarta, 2004.
 - [2] Anant Oonsivilai, "*Optimum PID Controller tuning for AVR System using Adaptive Tabu Search*", School of Electrical Engineering, 2008.
 - [3] Arman Jaya, "*Impelementasi Kontroller PID Pada AVR (Automatic Voltage Regulator) Untuk Pengaturan Tegangan Eksitasi Generator Sinkron 3 fasa*", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
 - [4] Cahyono, Budi, "Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) dalam Pembelajaran Aljabar Linier," *Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan Institut Agama Islam Negeri Walsiongo*, 2013.
 - [5] Edriyanto NW, "*Perencanaan Optimal Sistem Kontrol AVR (Automatic Voltage Regulator) Untuk Memperbaiki Kestabilan Tegangan Dengan Menggunakan Algoritma Genetik*", Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang.
 - [6] Ferdiansyah. tentang kendali PID. [Online]. https://www.academia.edu/9928544/Teori_Kontrol_PID_Proportional_Integral_Derivative
 - [7] Iwan Setiawan, *Kontrol PID untuk industri 2008*.
 - [8] Katsuhiko Ogata, "*Modern Control Engineering*", 5th ed., Andrew Gilfillan, Ed.: Prentice Hall, 2010, p. 793.
 - [9] Khaerul Humam, "*Koordinasi Fuzzy PID-AVR Optimal Menggunakan Harmony Search Algorithm Untuk Meredam Osilasi Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik*", Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang.
 - [10] K. J. Astrom adn B. Wittenmark, "*Adaptive Control*". New York: Dover Publications, 1995.
 - [11] Ogata, K, "*Teknik Kontrol Automatik*". Jakarta: Erlangga, jilid 1, 1995.
 - [12] Olivia Fernaza, "*Studi Metoda Kendali Linear Quadratic Regulator (LQR) dan Aplikasi Pada Sistem Automatic Voltage Regulator (AVR)*", vol. 1, no. 1, Program Studi Teknik

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



Elektro, Universitas Andalas, 2012. *adaptive control*, vol. 2, 2019.

- [13] Pamungkas Jati, "*Simulasi Kendali PID Dan Logika Fuzzy Pada Sistem Eksitasi Automatic Voltage Regulator Dengan Simulink Matlab*", Program Studi Fisika, UNNES, 2016.
- [14] 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.
- [15] Toto Sukisno, "*Matlab/Simulink Untuk Studi Pengendalian Daya Reaktif dan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Automatic Voltage Regulator (AVR)*", Universitas Negeri Surabaya, 2020.
- [16] Triyono, "*APLIKASI KONTROL PID DENGAN SOFTWARE MATLAB*", vol. 1, Jurnal Teknik, 2015.
- [17] Vivek Kumar Bhatt, "*Desain Of PID Controller In Automatic Voltage Regulator (AVR) System Using PSO Technique*", Department Of Electrical Engineering, Indore, India, 2013.
- [18] Yuan-yuan Zhu Shi-jie Su, *A method to construct a reference model for model reference adaptive control*, vol. 2, 2019.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

© Hak 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:

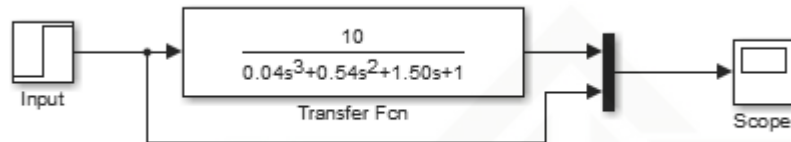
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

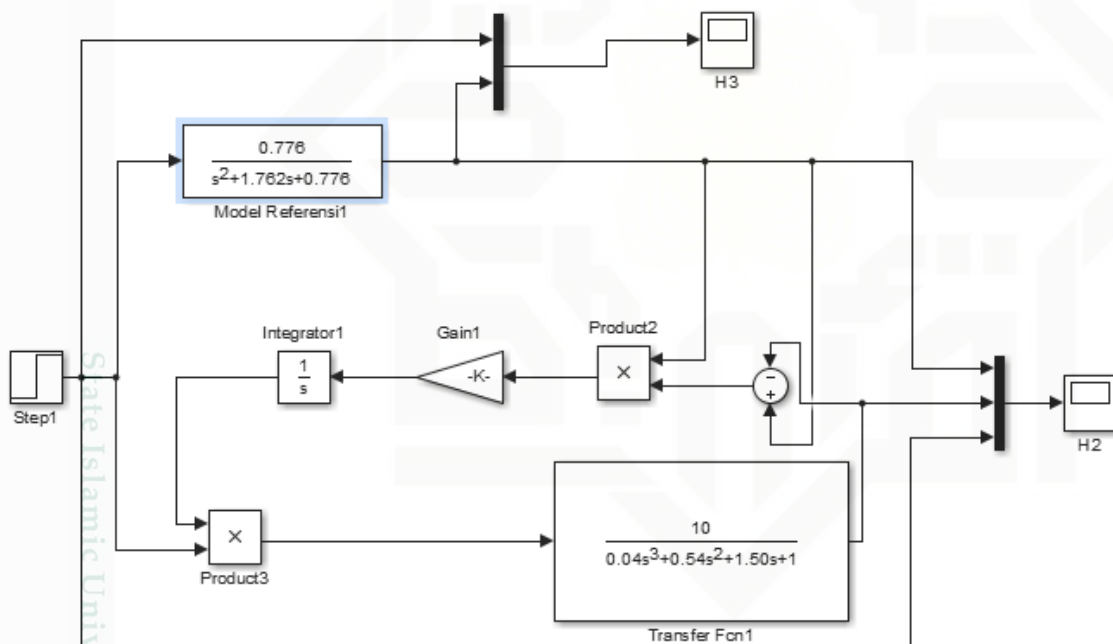
LAMPIRAN A

RANGKAIAN PENGENDALI PADA SIMULINK

1. Rangkaian *Automatic Voltage Regulator (AVR)* dengan *open loop*

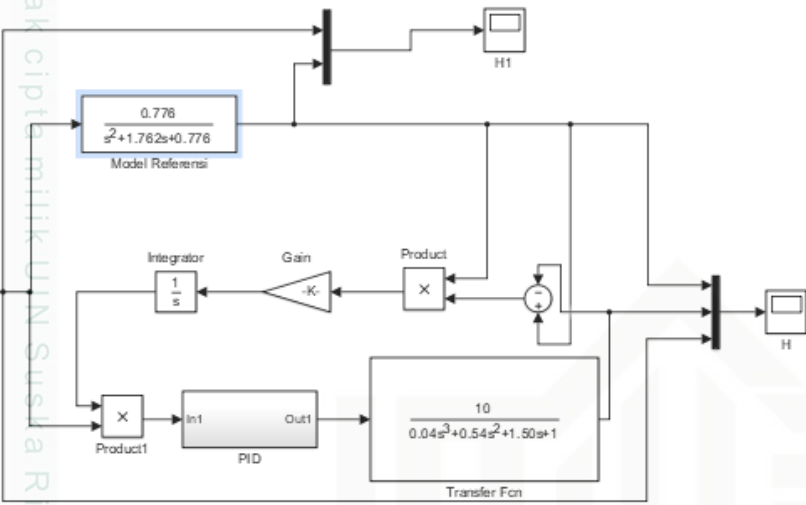


2. Rangkaian *Automatic Voltage Regulator (AVR)* menggunakan pengendali LQR



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Diarangi 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. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Rangkaian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan pengendali MRAC-PID



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

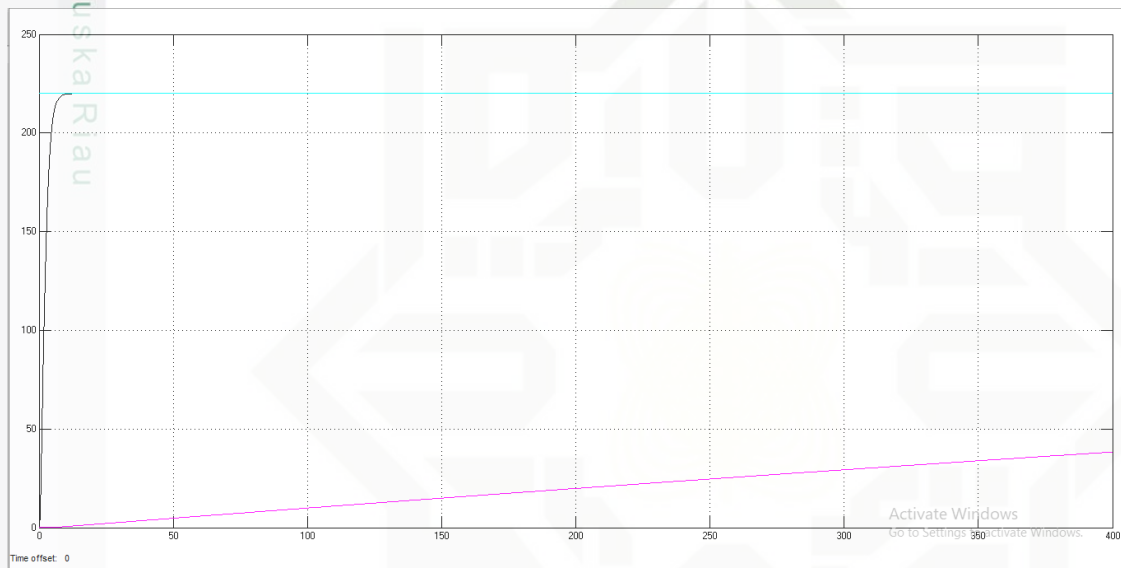
1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

LAMPIRAN B

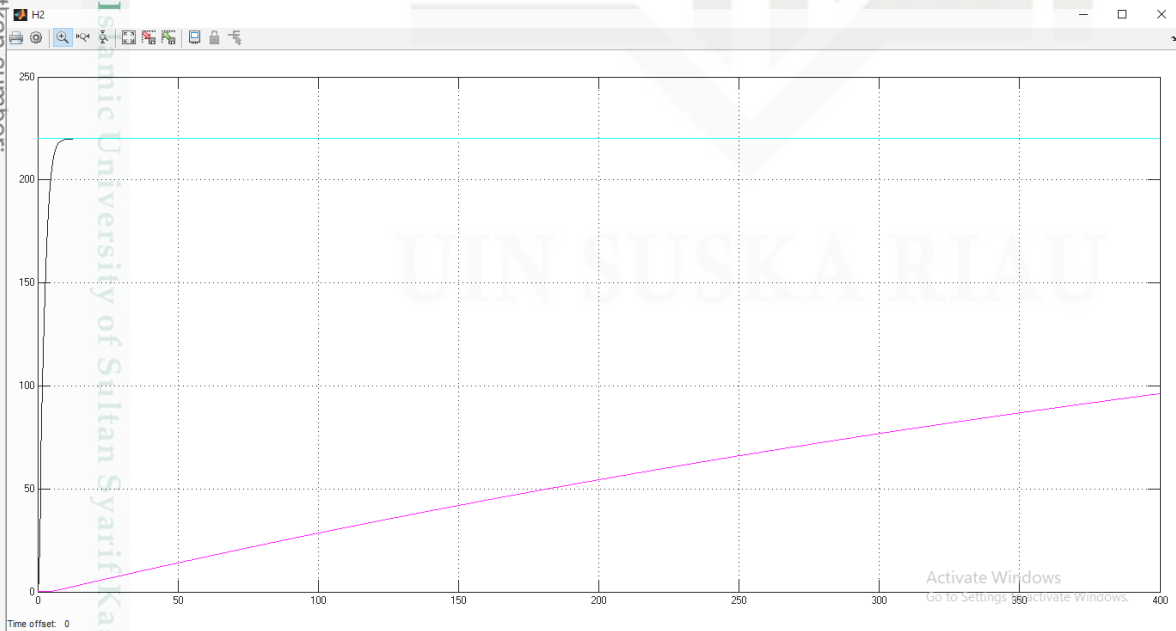
HASIL SIMULASI TUNNING GAIN MRAC

PROSES TUNNING GAIN MRAC UNTUK MENGENDALIKAN *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR (AVR)*

1. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.00000001



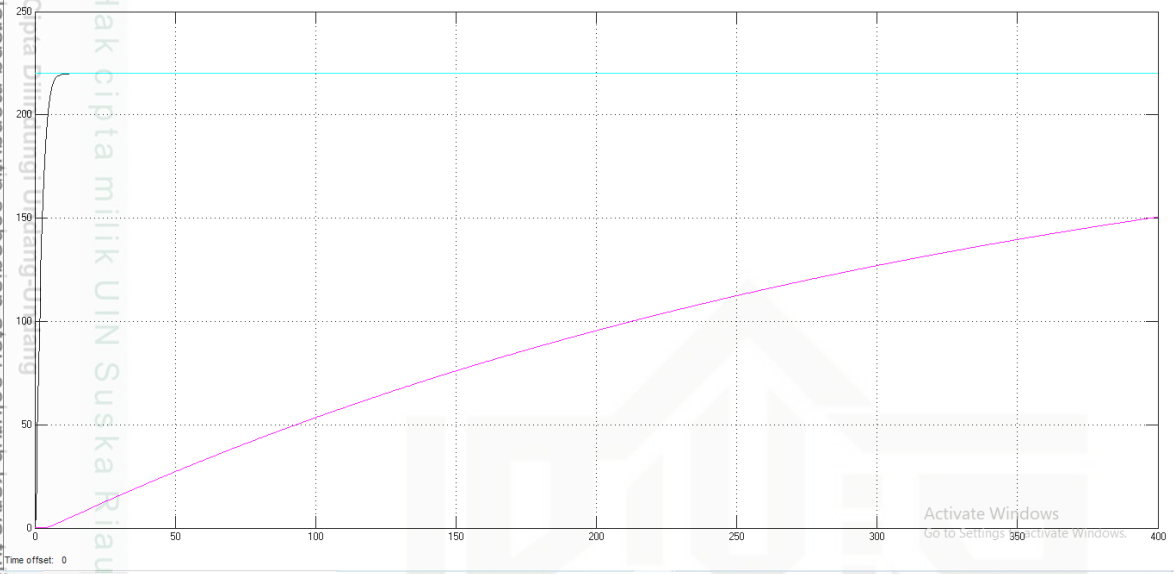
2. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.000000003



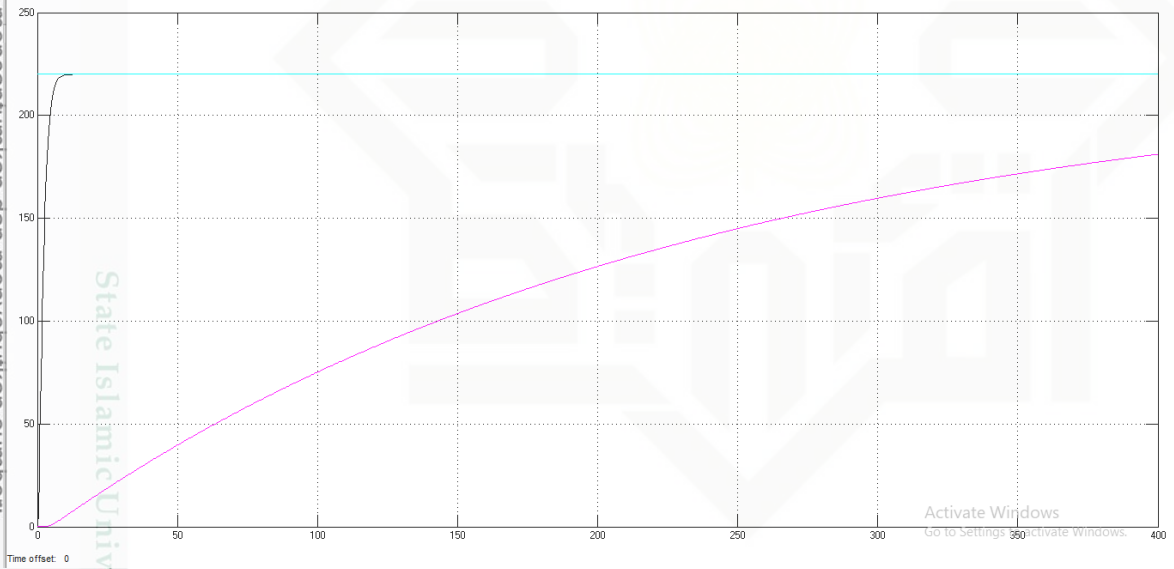
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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



3. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.000000006



4. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.000000009



3.

Hak Cipta milik UIN Suska Riau

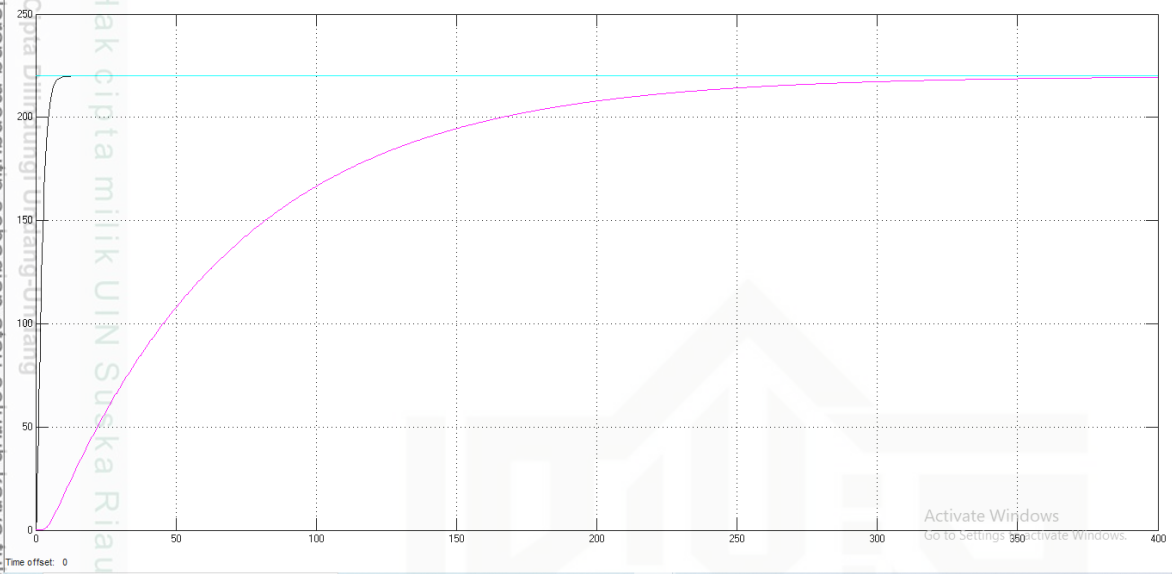
4.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

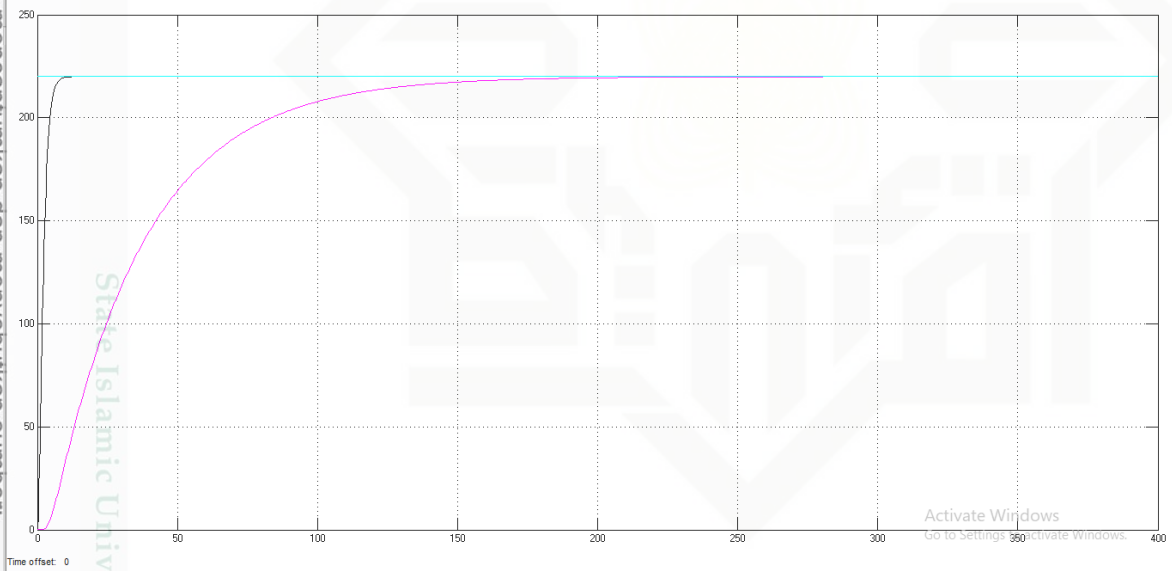
UIN SUSKA RIAU

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.

5. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.00000003



6. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.00000006



5.

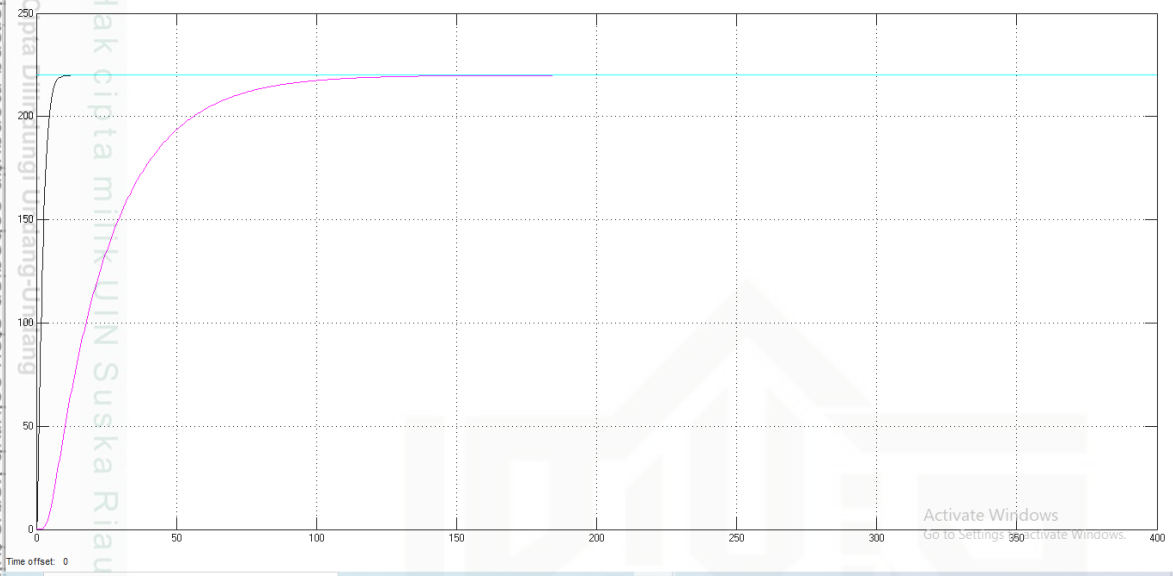
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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

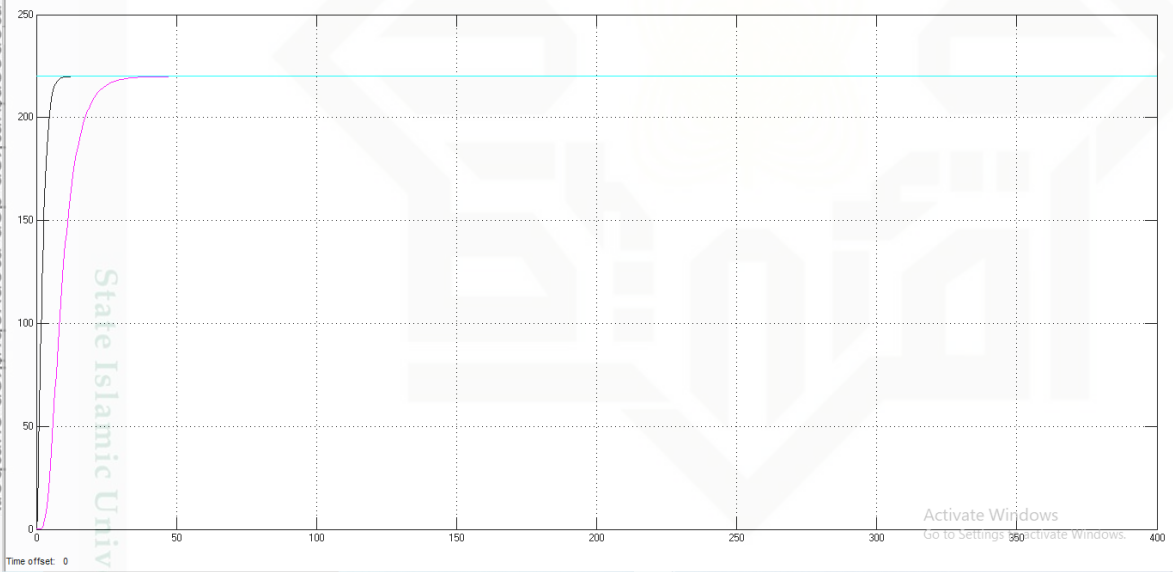
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

7. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.0000009



8. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.0000003



7.

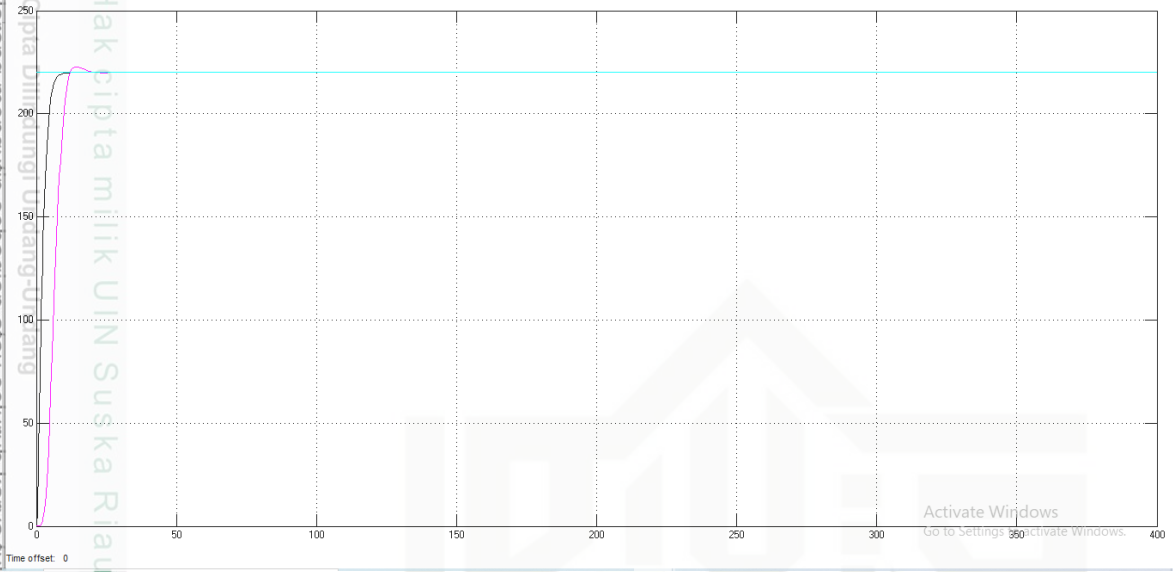
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

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

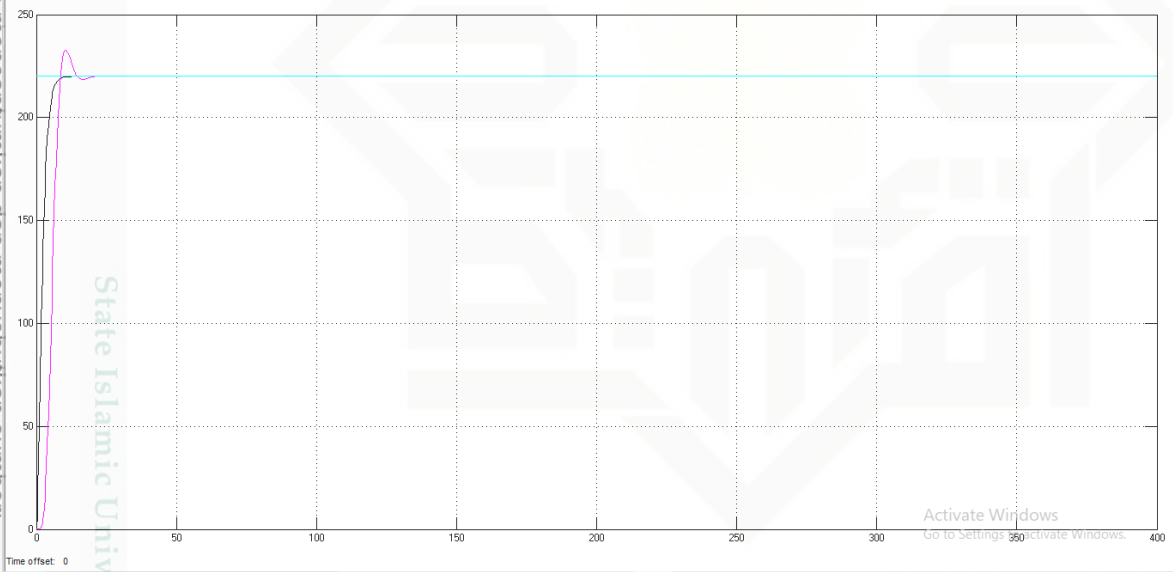
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

9. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.0000006

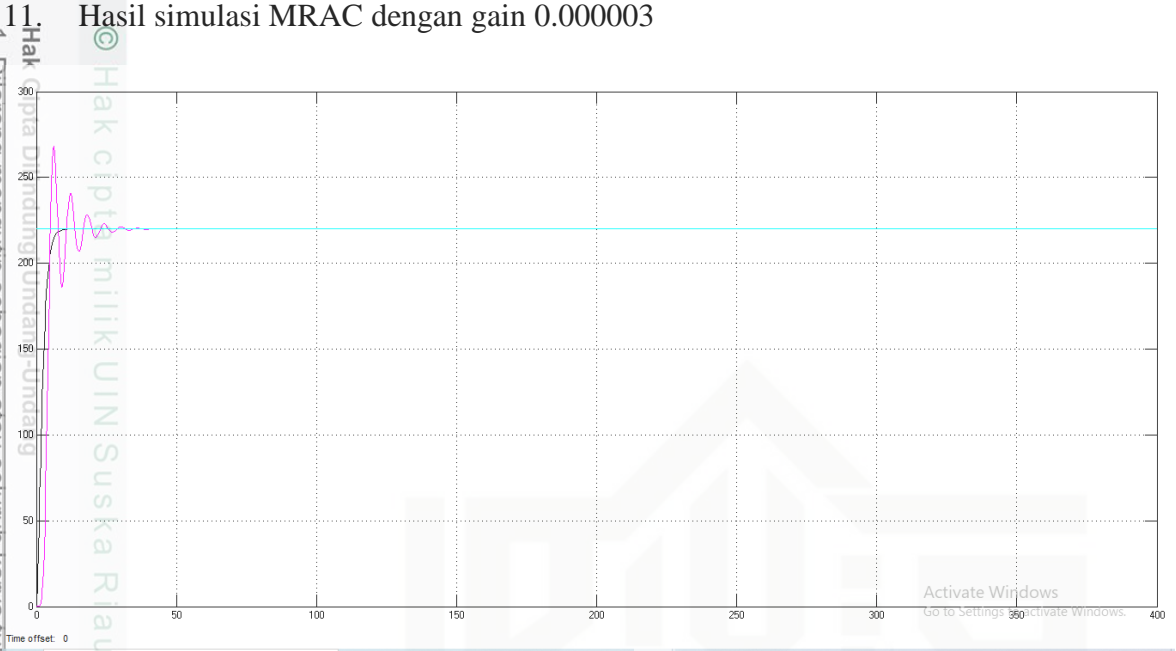


10. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.0000009



9. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.0000006
 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.
10. Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.0000009
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil simulasi MRAC dengan gain 0.000003



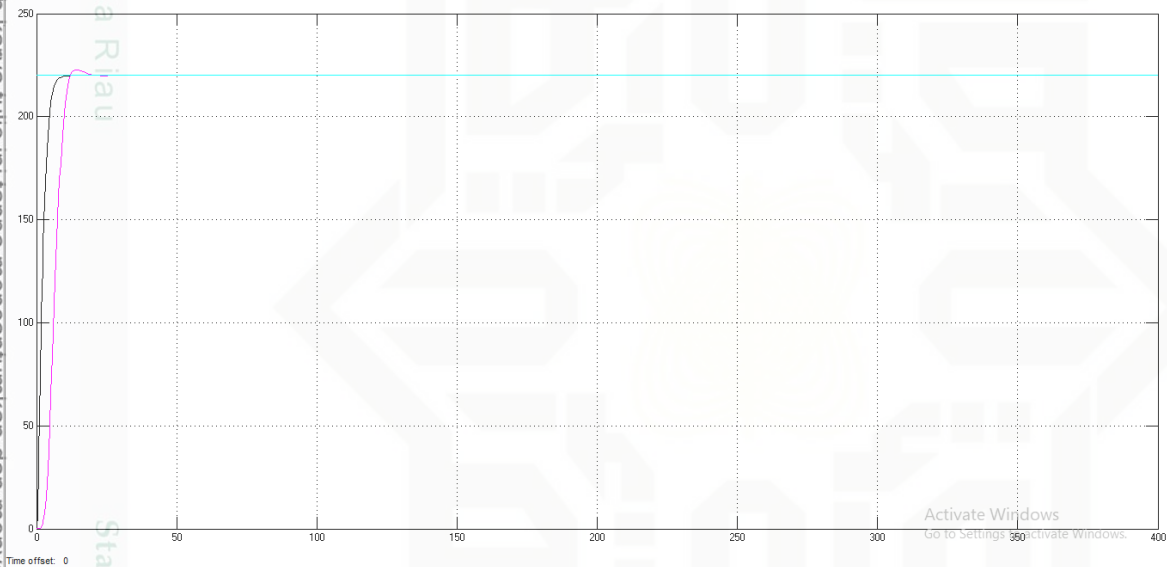
11. Hak Cipta Dinding Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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

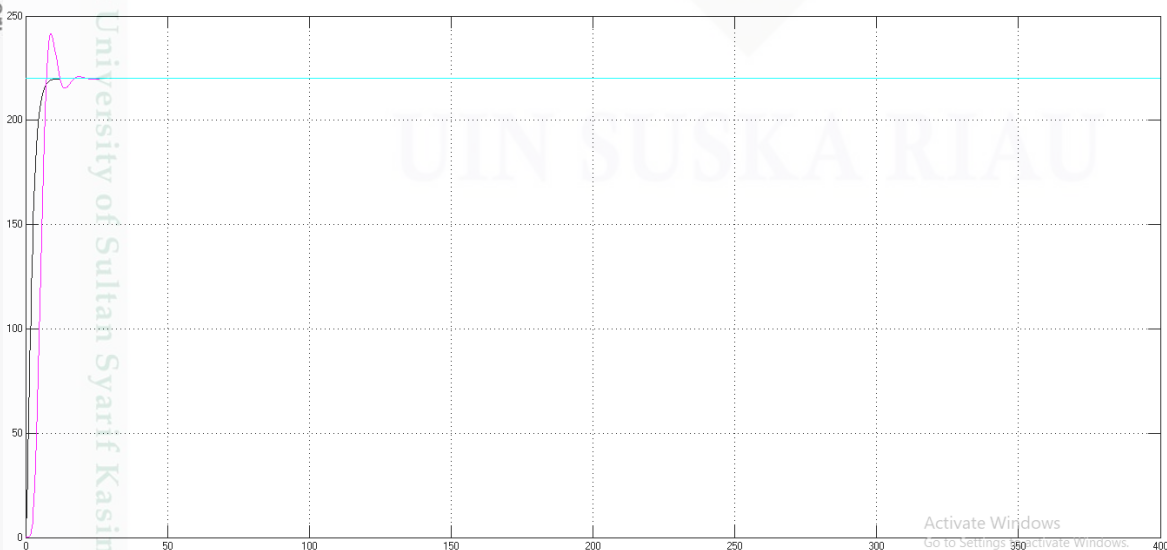
HASIL SIMULASI TUNNING MRAC-PID

PROSES TUNNING K_p , K_i DAN K_d PADA PENGENDALI MRAC KOMBINASI PID UNTUK MENGENDALIKAN *AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR* (AVR)

1. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID dengan nilai $K_p = 0.02$

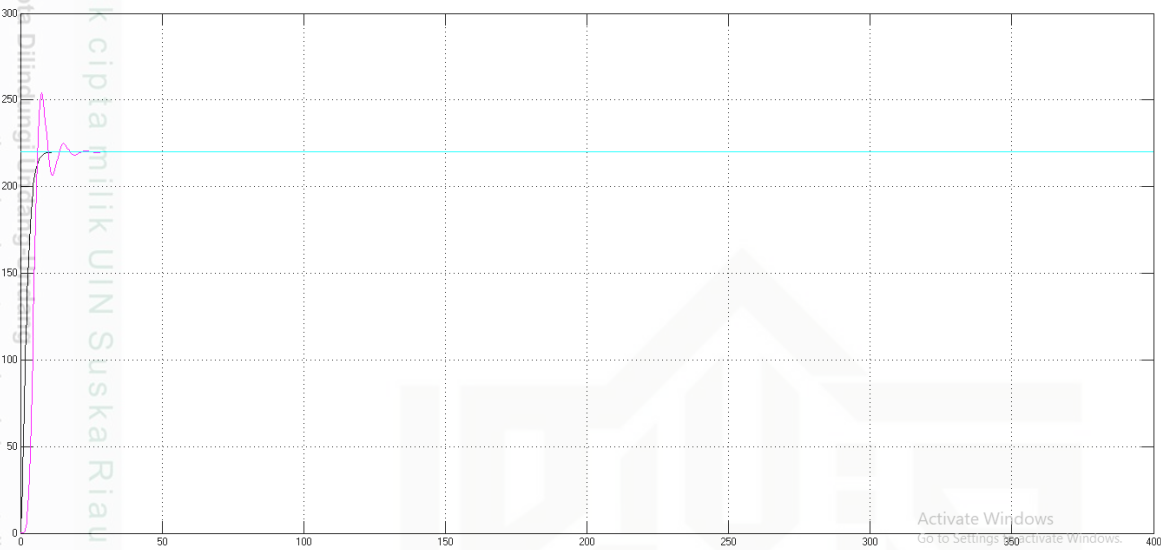


2. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.04$

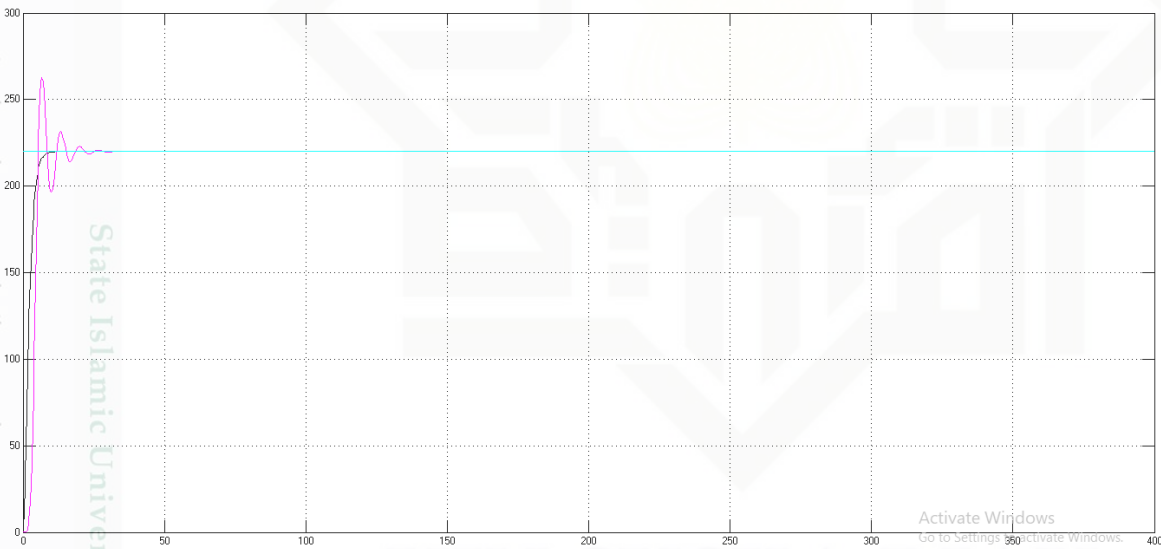


- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan 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. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.06$



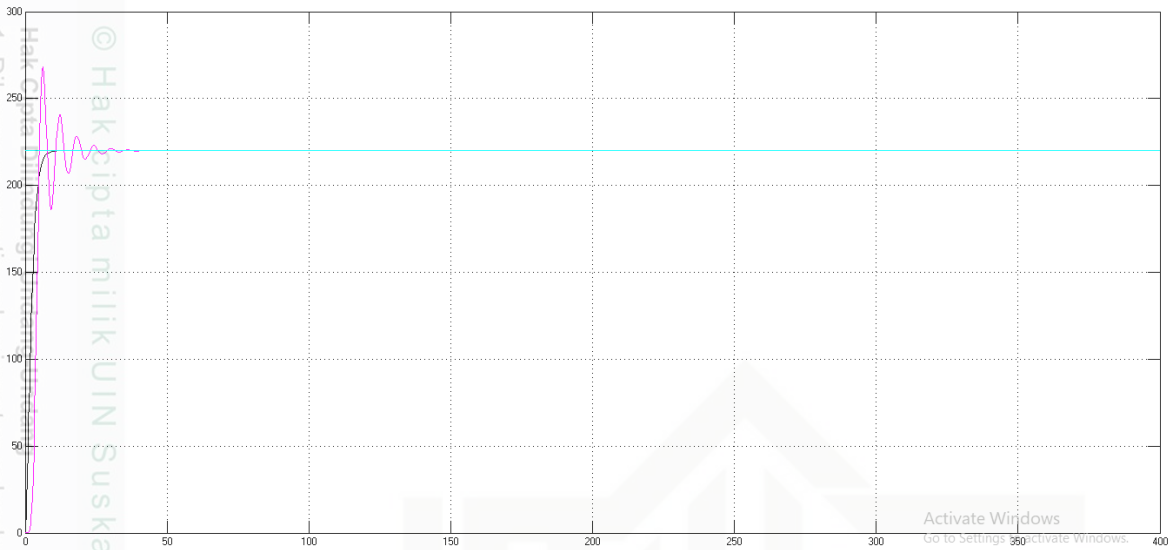
4. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID dengan nilai $K_p = 0.08$



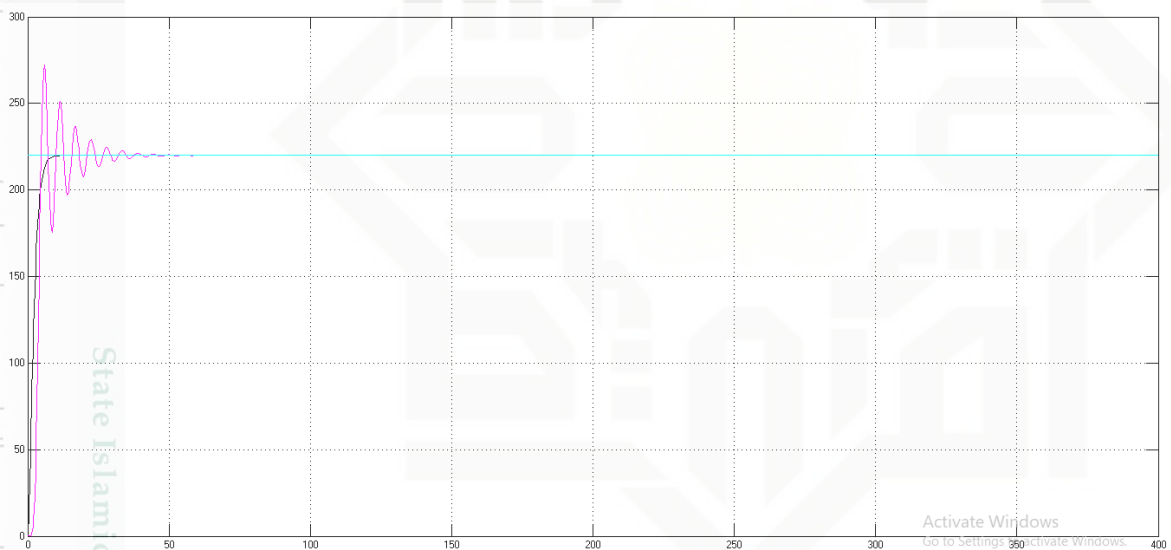
5. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.10$



3.
 1. Diarangi 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.

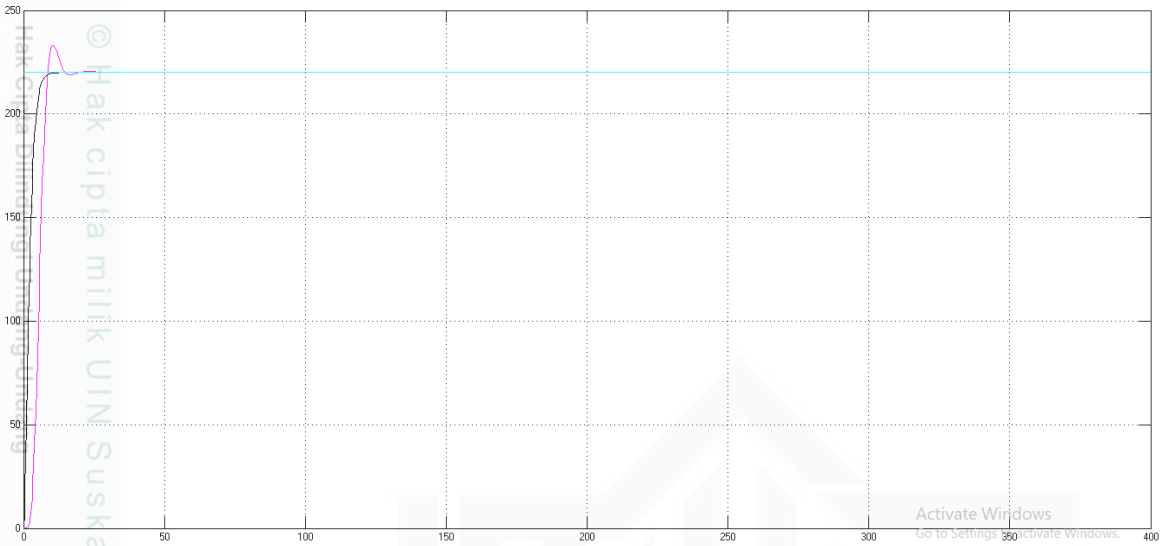


6. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.12$

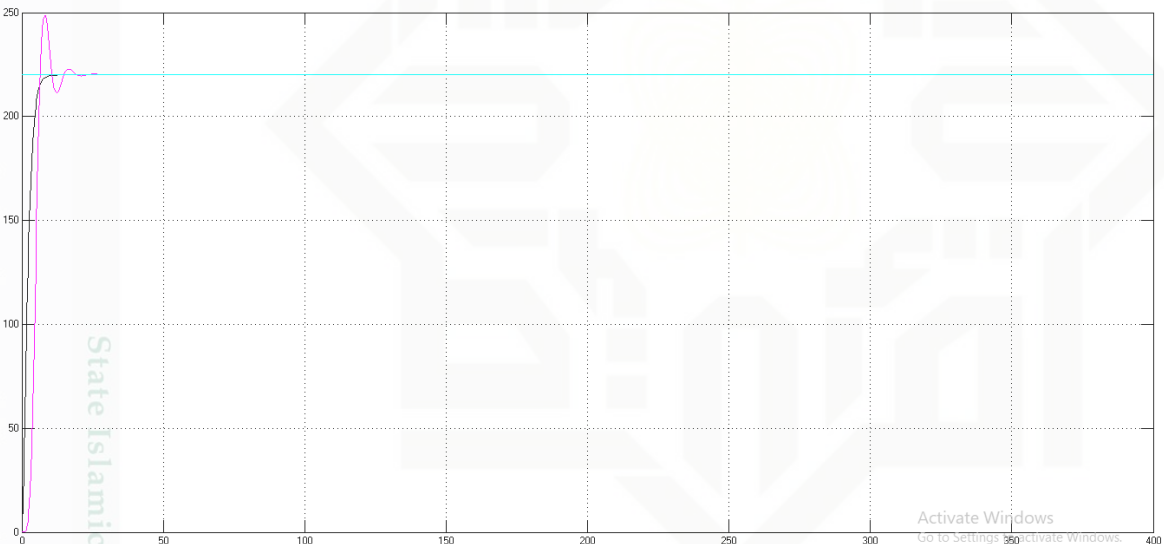


7. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.03$ $K_i = 0.00002$

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

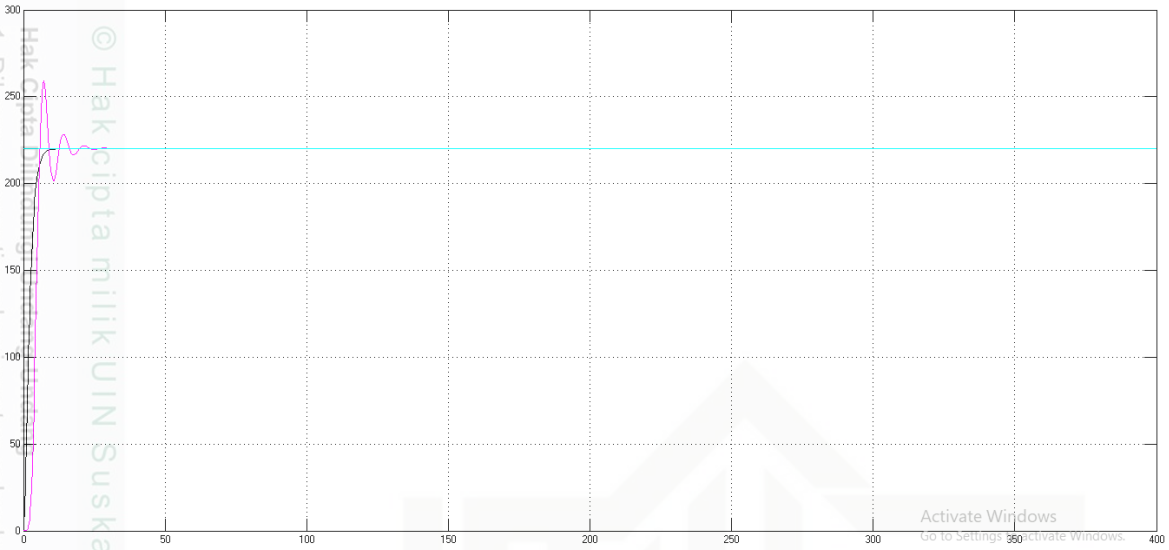


8. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.05$ $K_i = 0.00004$

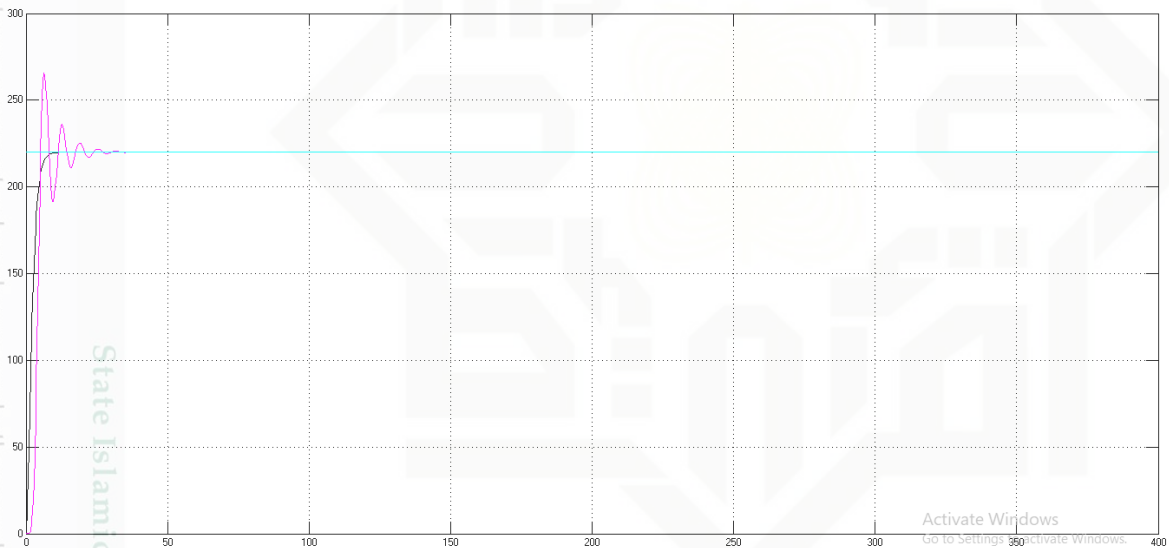


9. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.07$ $K_i = 0.00006$

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



10. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.09$ $K_i = 0.00008$



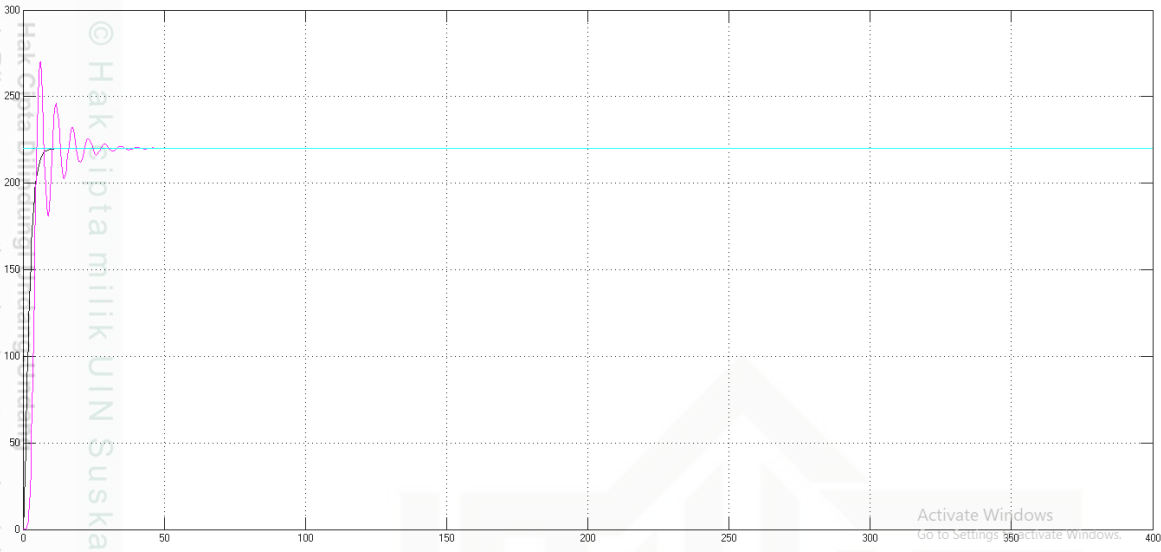
11. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.11$ $K_i = 0.00010$

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

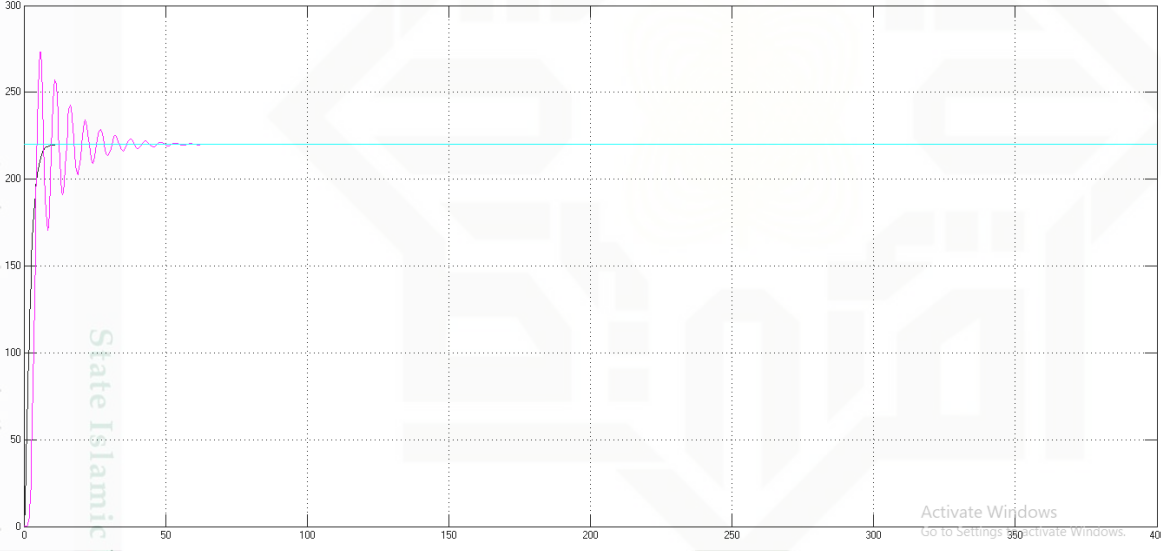
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

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

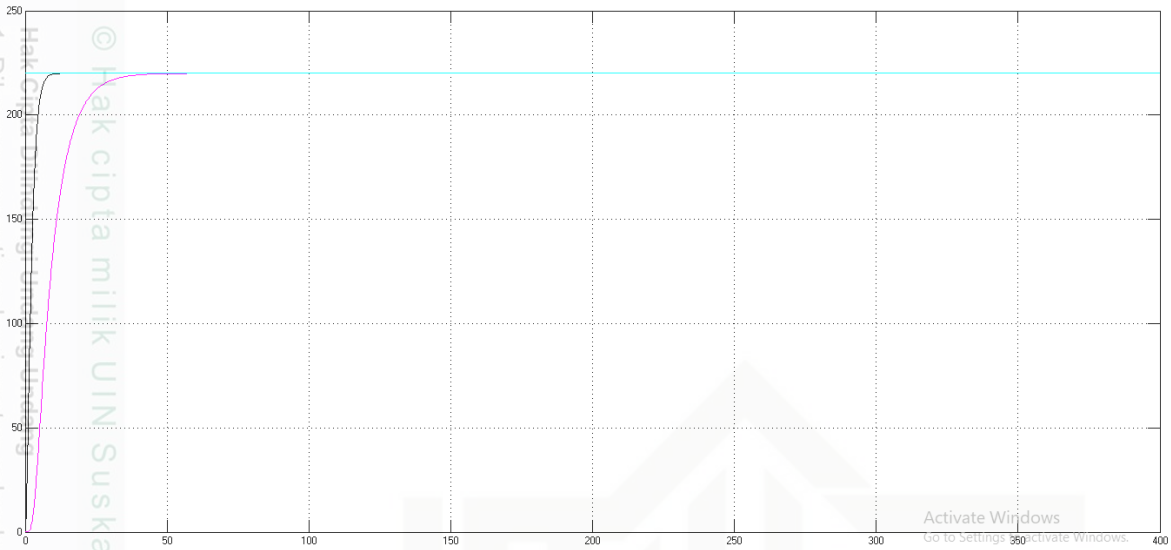


12. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.13$ $K_i = 0.00012$

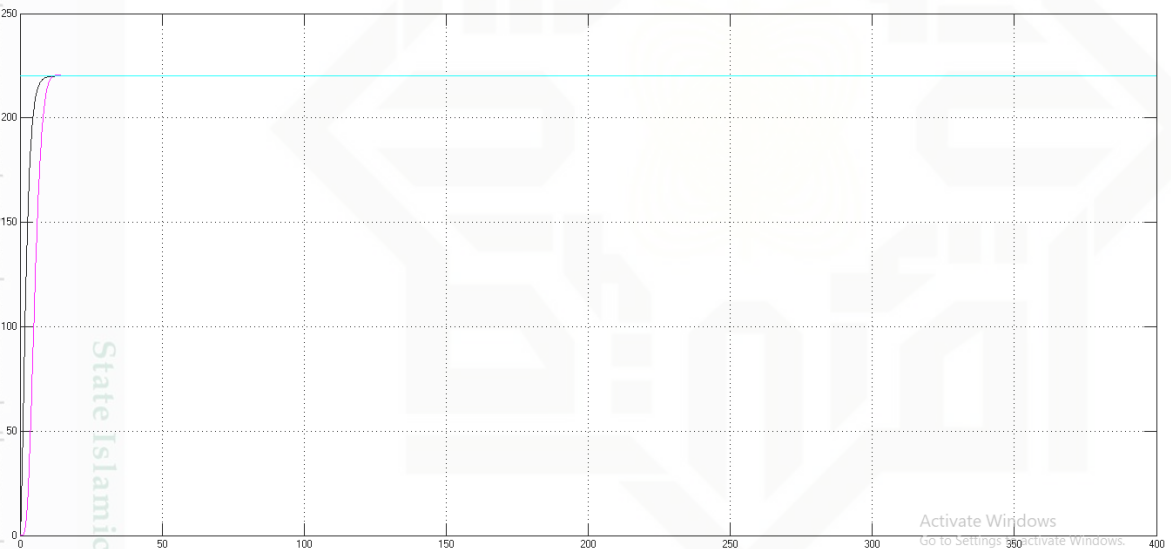


13. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.01$ $K_d = 0.01$

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

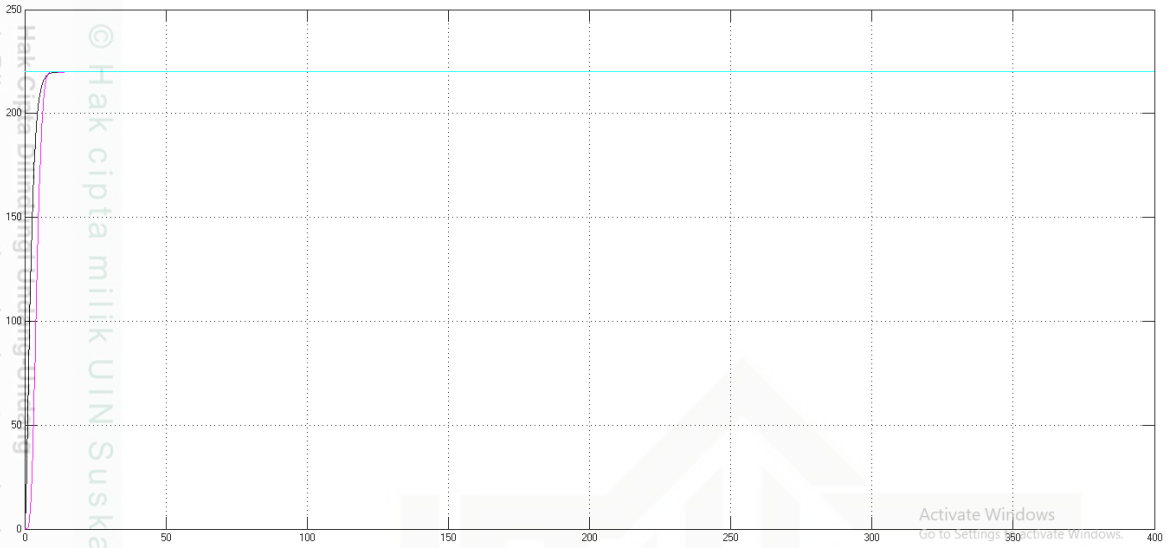


14. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.03$ $K_d = 0.02$

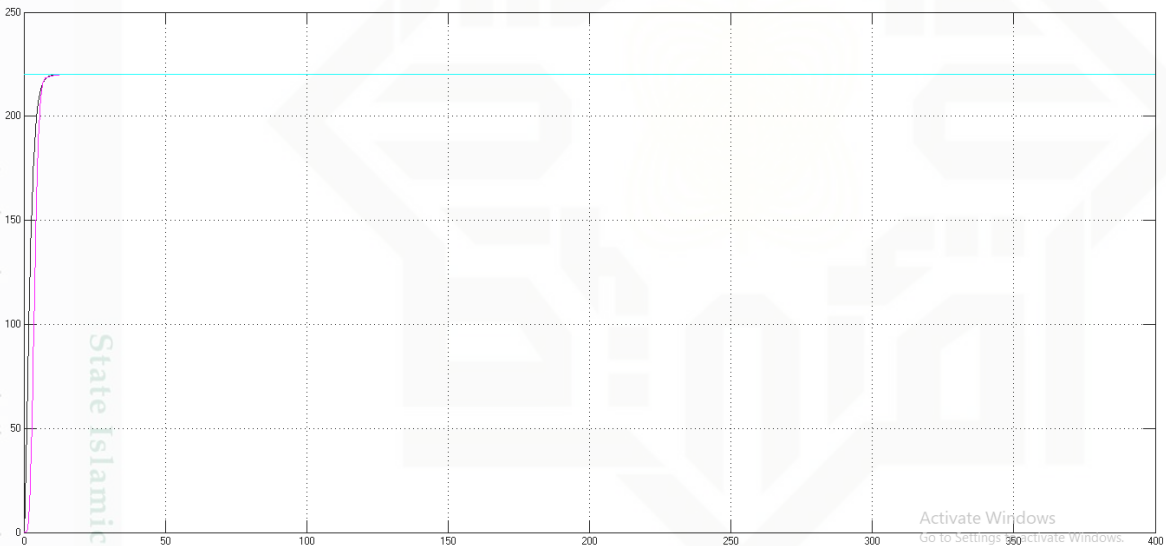


15. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.05$ $K_d = 0.04$

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

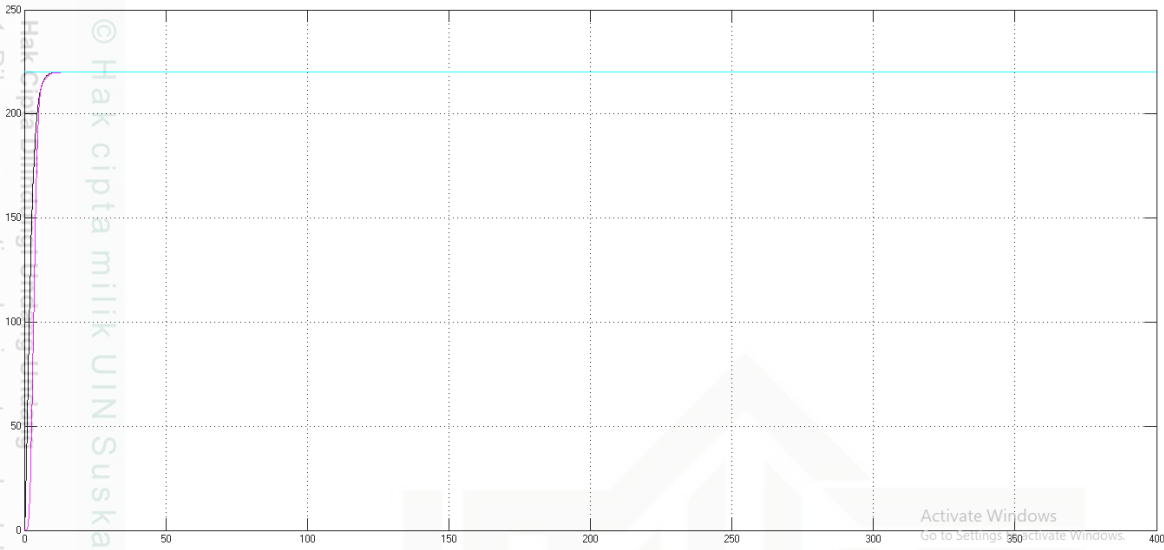


16. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.07$ $K_d = 0.06$

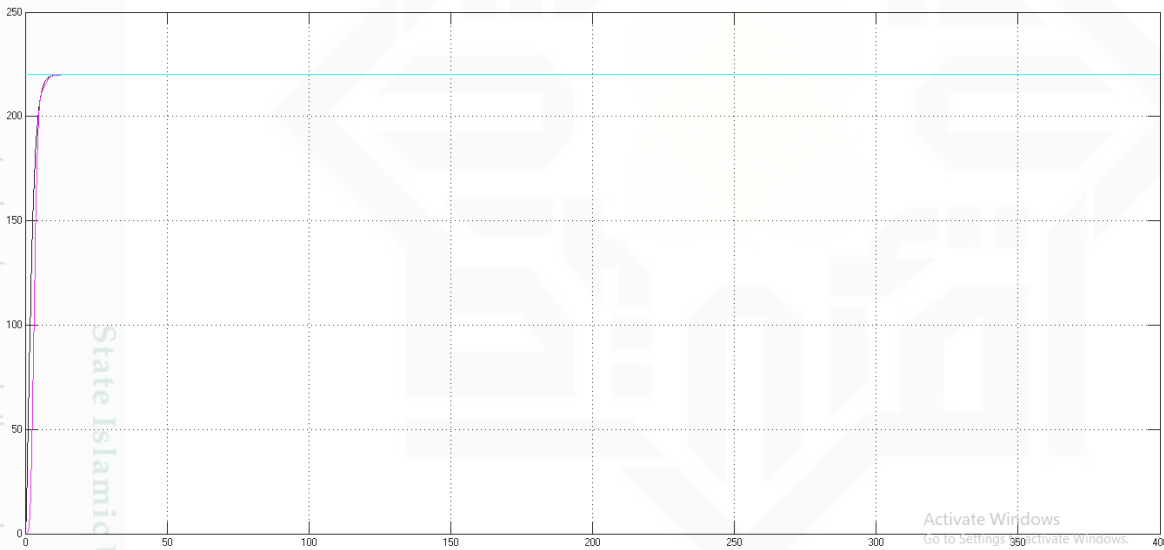


17. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.09$ $K_d = 0.08$

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

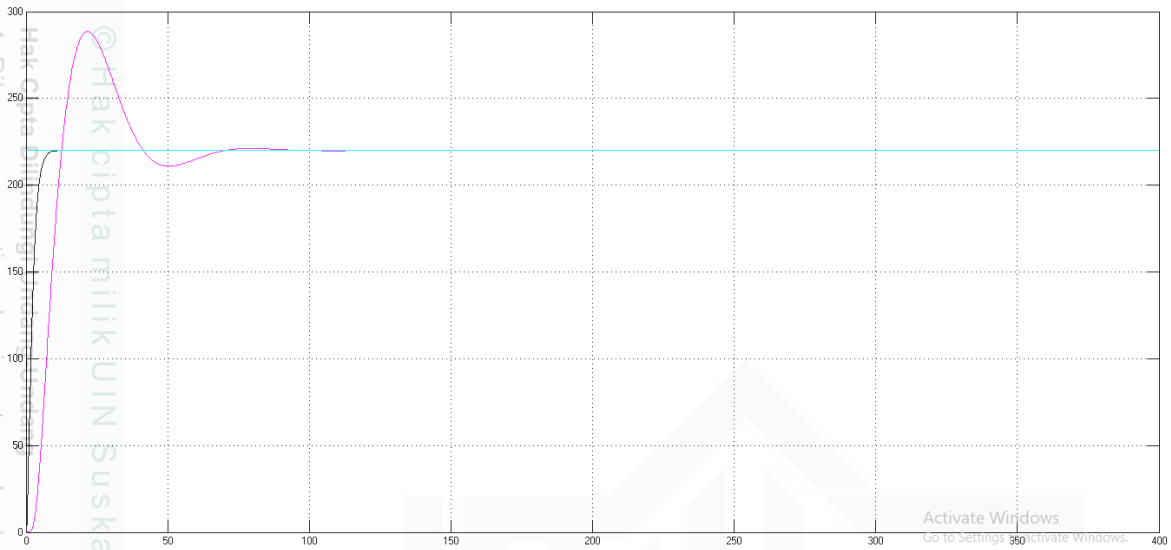


18. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.011$ $K_d = 0.1$

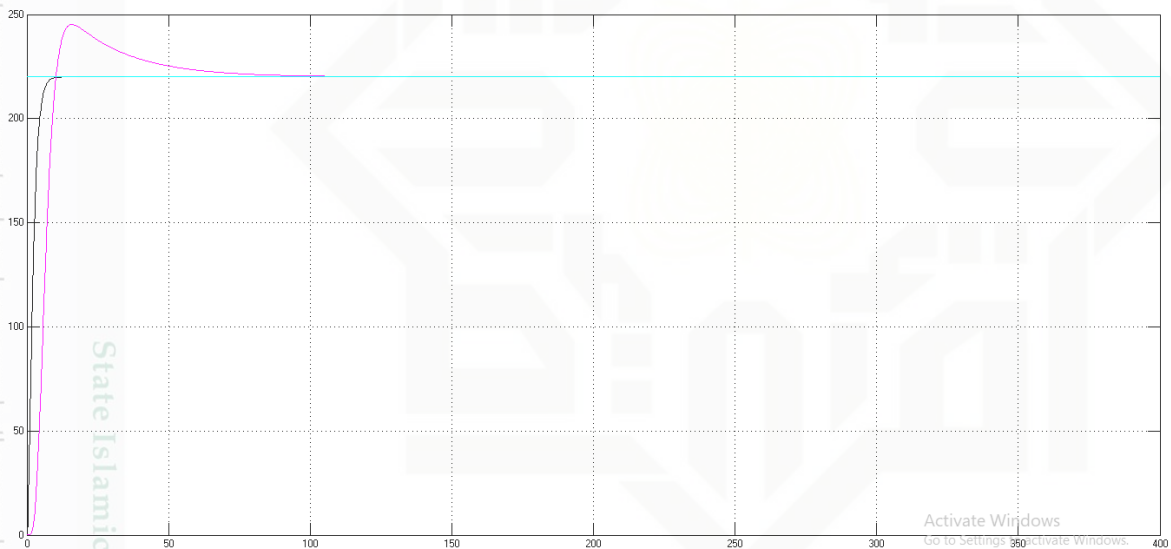


19. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.01$ $K_i = 0.001$ $K_d = 0.005$

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

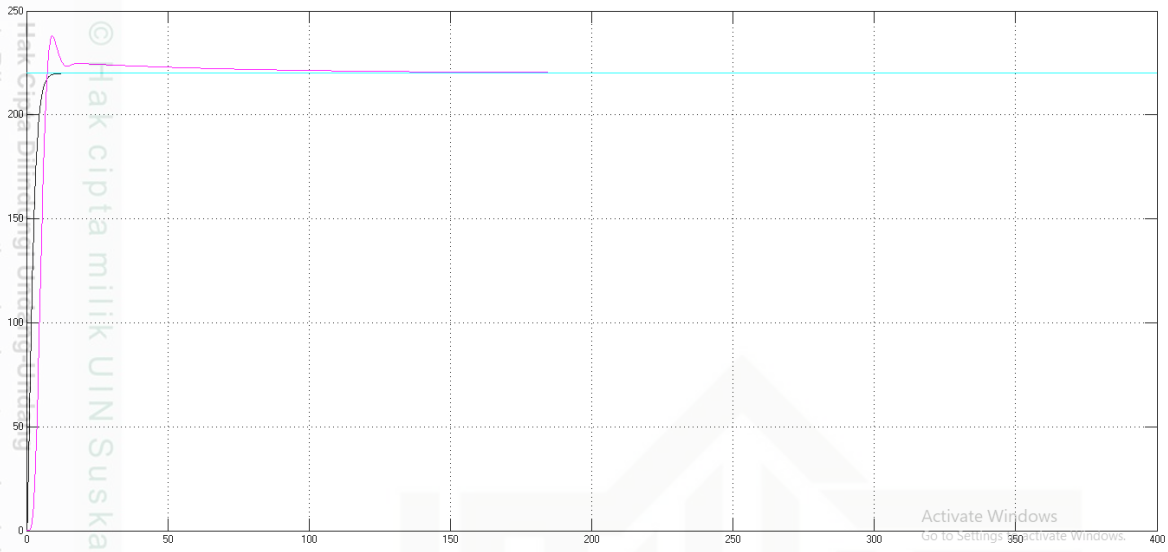


20. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.02$ $K_i = 0.0008$ $K_d = 0.008$

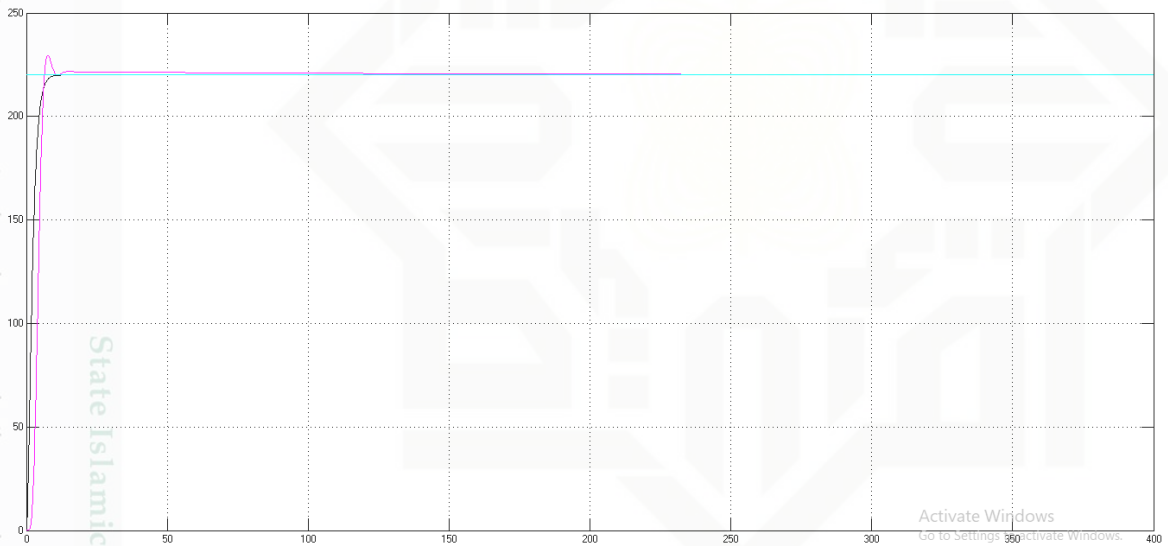


21. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.04$ $K_i = 0.0006$ $K_d = 0.01$

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

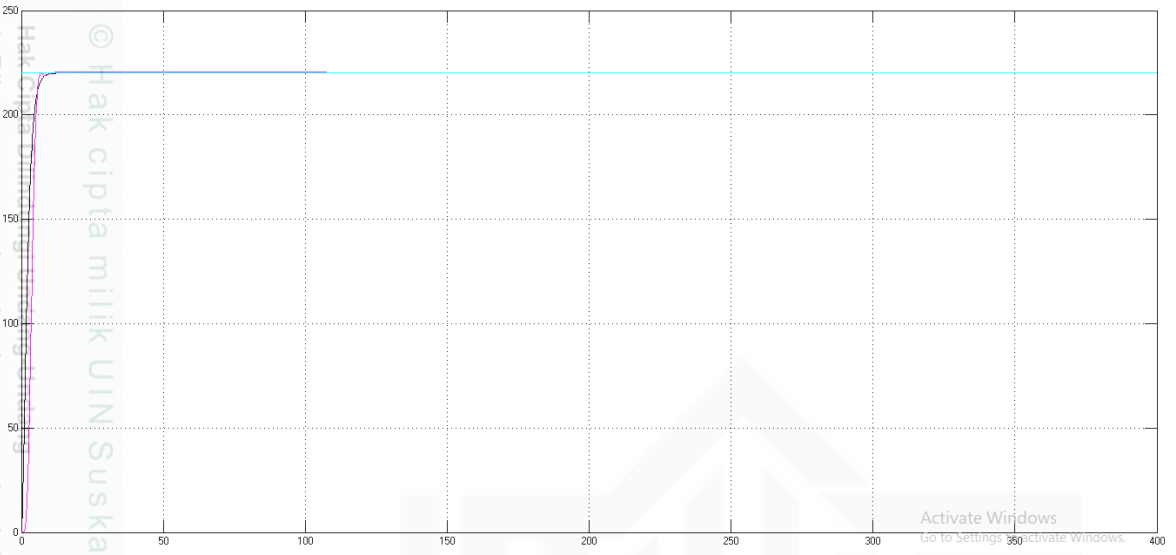


22. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.06$ $K_i = 0.0004$ $K_d = 0.03$

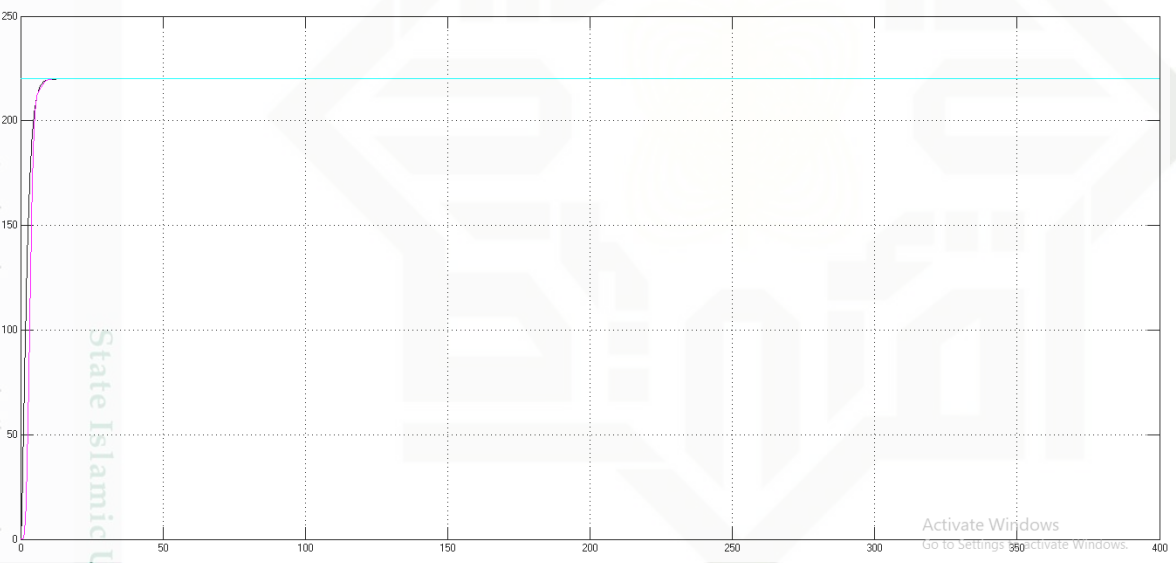


23. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.08$ $K_i = 0.0002$ $K_d = 0.06$

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



24. Hasil simulasi pengendalian *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan MRAC-PID $K_p = 0.1$ $K_i = 0.0001$ $K_d = 0.09$



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



BIOGRAFI



Nama penulis Mahatir Muhammad, penulis lahir di Kuala Enok di kecamatan Tanah Merah kabupaten Indragiri Hilir, Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara, penulis memiliki 1 kakak laki-laki dan 1 adik perempuan, Ibu penulis bernama Evi Noviani yang merupakan seorang ibu rumah tangga dan ayah penulis bernama Moris Meri yang merupakan pedagang. Adapun jenjang pendidikan penulis dimulai dari SD 016 yang mana di tahun 2004 sampai 2010, kemudian melanjutkan studi di MTs Kuala Enok yang lulus ditahun 2013, kemudian melanjutkan di MAN Kuala Enok yang lulus di tahun 2016, pada tahun 2016 melanjutkan pendidikan ke UIN Suska dengan program studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi yang Alhamdulillah Lulus di tahun 2021

Dengan izin Allah SWT, kemauan keras, dan motivasi dorongan dari beberapa pihak akhirnya penulis menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: **“Desain Kendali *Hybird Model Reference Adaptive Control (Mrac)*-Pid Untuk Mengendalikan *Automatic Voltage Regulator*”**

Penutup penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar besarnya kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan, kekuatan, dan kehidupan sehingga penulis sampai ketahap ini