# DESAIN KENDALI *TUNING* PID MENGGUNAKAN FUZZY *LOGIC* UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA

## TUGAS AKHIR

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

Oleh :

**MUHAMMAD AFIF LUTHFIE ADRIAN**

**11850512408**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

**PEKANBARU**

**2022**

UIN SUSKA RIAU

©Hak cipta milik UIN Suska 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.

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**

**DESAIN KENDALI *TUNING* PID MENGGUNAKAN FUZZY *LOGIC* UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**MUHAMMAD AFIF LUTHFIE ADRIAN**
**11850512408**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 20 Juli 2022

| Pembimbing I | Pembimbing II |
|---|---|
| **Putut Son Maria, S.ST., M.T** | **Halim Mudia, S.T., M.T** |
| NIK. 130508079 | NIK. 130517053 |

Ketua Prodi Teknik Elektro

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

Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

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

# LEMBAR PENGESAHAN

## DESAIN KENDALI *TUNING* PID MENGGUNAKAN FUZZY *LOGIC* UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**MUHAMMAD AFIF LUTHFIE ADRIAN**
**11850512408**

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 20 Juli 2022

Pekanbaru, 20 Juli 2022

Mengesahkan,

| Dekan | Ketua Program Studi Teknik Elektro |
|---|---|
| **Dr. Hartono, M.Pd** | **Dr. Zulfatri Aini, ST, MT** |
| NIP. 19640301 199203 1 003 | NIP. 19721021 200604 2 001 |

**DEWAN PENGUJI :**

| | |
|---|---|
| Ketua | : Dr. Liliana, ST., M.Eng |
| Sekretaris | : Putut Son Maria, S.ST., MT |
| Anggota | : Halim Mudia, ST., MT |
| Anggota | : Ahmad Faizal, ST., MT |
| Anggota | : Jufrizel, ST., MT |

# LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

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

UIN SUSKA RIAU

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.

# SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

| | |
|---|---|
| Nama | : Muhammad Afif Luthfie Adrian |
| NIM | : 11850512408 |
| Tempat, Tgl. Lahir | : Duri, 20 Juni 2001 |
| Fakultas/Pascasarjana | : Sains dan Teknologi |
| Prodi | : Teknik Elektro |
| Judul Tugas Akhir | : |

DESAIN KENDALI TUNING PID MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan tugas akhir dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu tugas akhir saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan tugas akhir 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, 28 Juli 2022
Yang membuat pernyataan

METERAI TEMPEL
3668AJX978179022

Muhammad Afif Luthfie Adrian
NIM 11850512408

f Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

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

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

# HALAMAN PERSEMBAHAN

**Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang**

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

*(HR.Tirmidzi)*

Terima Kasih Ya Allah…

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

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

*(QS : Al-Mujadilah 11)*

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

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

*(QS: Al-Isra 80)*

**| Muhammad Afif Luthfie Adrian |**

**| 20 Juli 2022 |**

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.

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

# DESAIN KENDALI *TUNING* PID MENGGUNAKAN FUZZY *LOGIC* UNTUK PENGENDALIAN KECEPATAN PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA

**MUHAMMAD AFIF LUTHFIE ADRIAN**

**NIM : 11850512408**

Tanggal Sidang : 20 Juli 2022

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

## ABSTRAK

Motor induksi 3 fasa merupakan sebuah mesin listrik atau motor listrik yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kecepatan motor induksi 3 fasa perlu dijaga agar menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. Pada faktanya kecepatan motor induksi 3 fasa sulit untuk dikendalikan karena sifatnya yang nonlinier dan rentan terhadap perubahan sehingga kecepatan yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diinginkan. Oleh karena itu diperlukan pengendali untuk menghasilkan kecepatan yang sesuai stabil dengan sesuai dengan *setpoint*. Pada penelitian ini digunakan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic*. Hasil penelitian dianalisa dari hasil grafik respon keluaran simulasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa respon keluaran mampu meminimalisir *error steady state* hingga mendekati 0. Didapatkan nilai-nilai parameter hasil analisa yaitu Ts = 1.282 detik, Tr = 0.97 detik, Td = 0.344 detik, Ess = 0.000087 rpm, dan *overshoot* = 0 rpm.

**Kata Kunci** : Motor Induksi 3 Fasa, kecepatan, *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic*

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.

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

# *TUNING PID CONTROL USING FUZZY FOR SPEED CONTROL ON THE 3 PHASE INDUCTION MOTOR*

**MUHAMMAD AFIF LUTHFIE ADRIAN**

**NIM : 11850512408**

Date of Final Exam : 20 July 2022

Department of Electrical Engineering
Faculty of Science of Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

## *ABSTRACT*

*3-phase induction motor is an electric machine or electric motor which converts electrical energy into mechanical energy. The speed of a 3-phase induction motor needs to be maintained in order to produce a good quality product. In fact, the speed of a 3-phase induction motor is difficult to control because it is nonlinear and susceptible to change. Therefore a controller is needed to produce a stable appropriate speed according to the setpoint. In this research, Tuning PID controller using Fuzzy Logic is used. The results of the study were analyzed from the results of the simulation output response graph. The results of this study indicate that the output response is ableto minimize steady state error to close to 0. The parameter values obtained from the analysis are Ts = 1.282 seconds, Tr = 0.97 seconds, Td = 0.344 seconds, Ess = 0.000087 rpm, and overshoot = 0 rpm.*

***Key word :*** *3 Phase motor induction, speed, Tuning PID using Fuzzy Logic*

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

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

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

# KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "Desain Kendali *Tuning Fuzzy* PI-*Fuzzy Logic* Untuk Pengendalian *Level* Pada Sistem *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)".

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

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

1. Papa dan Mama yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Khairunnas, M.Ag selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T, M.T selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Sutoyo, S.T, M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Putut Son Maria, S.ST., MT dan Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

UIN SUSKA RIAU

7. Bapak Ahmad Faizal, ST.,M.Eng selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
8. Ibu Novi Gusnita, ST., MTselaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga semester 8 ini.
9. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Ibu Dr. Liliana, ST., M.Eng selaku Ketua Sidang Tugas Akhir, bapak Ahmad Faizal, S.T, M.T selaku penguji 1, dan bapak Jufrizel S.T, M.T selaku penguji 2 yang telah memberikan saran dan masukan sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman terdekat angkatan dan lain sebagainya yang tidak bisa disebutkan satu persatu selaku teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for never quitting. And I wanna thank me for just being me at all times.*

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

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 20 Juli 2022

Penulis,

Muhammad Afif Luthfie Adrian

NIM.11850512409

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

# DAFTAR ISI

Halaman

**LEMBAR PERSETUJUAN** ..... i
**LEMBAR PENGESAHAN** ..... ii
**LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL** ..... iii
**SURAT PERNYATAAN** ..... iv
**HALAMAN PERSEMBAHAN** ..... v
**ABSTRAK** ..... vi
***ABSTRACT*** ..... vii
**KATA PENGANTAR** ..... viii
**DAFTAR ISI** ..... x
**DAFTAR GAMBAR** ..... xiii
**DAFTAR TABEL** ..... xv
**DAFTAR RUMUS** ..... xvi
**DAFTAR LAMBANG** ..... xvii
**DAFTAR SINGKATAN** ..... xviii

**BAB I PENDAHULUAN** ..... I-1
1.1 Latar Belakang ..... I-1
1.2 Rumusan Masalah ..... I-4
1.3 Tujuan Penelitian ..... I-4
1.4 Batasan Masalah ..... I-4
1.5 Manfaat Penelitian ..... I-5
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... II-1
2.1 Penelitian Terkait ..... II-1
2.2 Landasan Teori ..... II-2
2.2.1 Motor Induksi Tiga Fasa ..... II-2
2.2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa ..... II-3
2.2.3 Identifikasi Sistem ..... II-4
2.2.4 Metode *Harriot* ..... II-5
2.3 Identifikasi Respon *Transient* ..... II-6
2.4 Sistem Kendali ..... II-8
2.4.1 Pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) ..... II-8



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

2.5 Logika *Fuzzy* ..... II-9
2.5.1 Himpunan *Fuzzy* ..... II-10
2.5.2 Fungsi Keanggotaan ..... II-10
2.5.3 Fuzzifikasi ..... II-12
2.5.4 Inferensi *Fuzzy* (Logika Pengambilan Keputusan) ..... II-12
2.5.5 Defuzzifikasi ..... II-13
2.5.6 Model *Fuzzy* Mamdani ..... II-14
2.6 Metode Heuristik ..... II-14
2.7 MATLAB (*Matrix Laboratory*) ..... II-15
**BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... III-1**
3.1 Proses Alur Penelitian ..... III-1
3.2 Tahapan Penelitian ..... III-2
3.3 Pemodelan Matematis Motor Induksi Tiga Fasa ..... III-3
3.4 Verifikasi Pemodelan Matematis ..... III-4
3.5 Skenario Penelitian ..... III-5
3.6 Perancangan Pengendali ..... III-5
3.6.1 Perancangan Pengendali *Tunning* PID ..... III-6
3.6.2 Perancangan Pengendali *Tuning PID* Menggunakan *Fuzzy* ..... III-8
3.6.3 Perancangan Pengendali *Tuning PID* Menggunakan Logika *Fuzzy* dengan Gangguan Sinyal Kendali ..... III-13
3.7 Hasil Data Penelitian yang Akan Dianalisa ..... III-14
**BAB IV HASIL DAN ANALISA ..... IV-1**
4.1 Gambaran Umum Hasil Penelitian ..... IV-1
4.2 Hasil Simulasi dan Analisa Respon Keluaran *Open Loop* Motor Induksi 3 Fasa ..... IV-1
4.3 Hasil Simulasi dan Analisa Respon Keluaran Menggunakan Pengendali *Tuning PID* Menggunakan *Fuzzy Logic* ..... IV-3
4.4 Hasil Simulasi dan Analisa Respon Keluaran saat Diberikan Gangguan Sinyal Kendali ..... IV-6
4.5 Analisa Perbandingan Respon Keluaran ..... IV-7
**BAB V PENUTUP ..... V-1**
5.1 Kesimpulan ..... V-1
5.2 Saran ..... V-1



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

**LAMPIRAN**

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

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

©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

# DAFTAR GAMBAR

**Halaman**


Gambar 2. 1 Bentuk Umum Motor Induksi Tiga Fasa[14] ..... II-3
Gambar 2. 2 Respon asli dari hasil uji *step* (*plant* sebenarnya) ..... II-4
Gambar 2. 3 Tabel Perbandingan Pendekatan Model[1] ..... II-5
Gambar 2. 4 *step respon* dari sistem dengan waktu $t_i$ dan $t_{73}$[16] ..... II-5
Gambar 2. 5 Kurva *Harriot*[16] ..... II-6
Gambar 2. 6 Respon Sistem Orde dua[12] ..... II-7
Gambar 2. 7 Blok Diagram Kontroler PID[12] ..... II-9
Gambar 2. 8 Representasi Linear Naik [13] ..... II-11
Gambar 2. 9 Representasi Linear Turun [13] ..... II-11
Gambar 2. 10 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga [13] ..... II-11
Gambar 2. 11 Representasi Trapesium [13] ..... II-12
Gambar 2. 12 Contoh Fuzzifikasi ..... II-12
Gambar 2. 13 Matlab R2016a ..... II-15
Gambar 2. 14 Tampilan halaman *Simulink* pada *Matlab* ..... II-16
Gambar 2. 15 Tampilan *Simulink Library Browse* ..... II-16
Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian ..... III-1
Gambar 3. 2 Step respon motor induksi tiga fasa [1] ..... III-3
Gambar 3. 3 Blok Diagram *Simulink open loop* motor induksi tiga fasa model *Harriot*. III-4
Gambar 3. 4 Grafik *open loop* sistem motor induksi tiga fasa ..... III-5
Gambar 3. 5 Rangkaian *Simulink* PID *Tunning* ..... III-7
Gambar 3. 6 Tampilan blok PID *controller* ..... III-7
Gambar 3. 7 Tampilan PID *Tuner* ..... III-8
Gambar 3. 8 Nilai e dan de pada *Simulink PID Tunning* ..... III-8
Gambar 3. 9 Tampilan *Fuzzy Logic Designer* ..... III-9
Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan *input error* ..... III-10
Gambar 3. 11 Fungsi keanggotaan *input delta error* ..... III-10
Gambar 3. 12 Fungsi Keanggotaan *Output 1* Kp ..... III-11
Gambar 3. 13 Fungsi keanggotaan *output 2* Ki ..... III-11
Gambar 3. 14 Fungsi Keanggotaan *output 3* Kd ..... III-12
Gambar 3. 15 Rangkaian *Simulink* Pengendali *PID-Fuzzy* ..... III-13





UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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. 16 Rangkaian *Simulink* Pengendali PID-*Fuzzy* dengan Gangguan Sinyal Kendali ..... III-13
Gambar 4. 1 Rangkaian *Open Loop* Motor Induksi 3 fasa ..... IV-1
Gambar 4. 2 Hasil Respon Keluaran *Open Loop* ..... IV-2
Gambar 4. 3 Respon Keluaran dengan Pengendali *Tuning PID* Menggunakan *Fuzzy Logic* ..... IV-5
Gambar 4. 4 Respon Keluaran saat Diberikan Gangguan Sinyal kendali 6% dari *Setpoint* ..... IV-7
Gambar 4. 5 Respon Keluaran saat Diberikan Gangguan Sinyal Kendali 8% dari *Setpoint* ..... IV-7

UIN SUSKA RIAU
©Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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 Rangkuman Kriteria metode defuzzifikasi yang sering digunakan[13] ..... II-13
Tabel 4. 1 Penalaan Kp, Ki, dan Kd pada kendali *Tuning PID* Menggunakan *Fuzzy Logic* .....IV-3
Tabel 4. 2 Perbandingan Respon Keluaran .....IV-8

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

2.1 Kecepatan Putaran Stator
2.2 Fungsi Alih Metode *Harriot*
2.3 Waktu Tunda
2.4 Waktu Konstan
2.5 Waktu saat respon Yi
2.6 Persamaan Himpunan *Fuzzy*
2.7 Persamaan *Support* Himpunan *Fuzzy*
2.8 Persamaan *Crossover* Himpunan *Fuzzy*
3.1 *Transer Function* Motor Induksi Tiga fasa

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

# DAFTAR LAMBANG

$\tau_H$ = Waktu Konstan

$Yi$ = Nilai respon saat mencapai Yi

$T_{DH}$ = Waktu tunda

$T_{73}$ = nilai waktu saat respon mencapai keadaan 73%

$G_{H(s)}$ = Model fungsi alih *Harriot*

$K$ = *Gain* keadaan tunak

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

# DAFTAR SINGKATAN

| | |
|---|---|
| PID | = *Proportional Integrative Derivative* |
| MATLAB | = *Matrix Laboratory* |
| Tr | = *Rise Time* |
| Ts | = *Settling time* |
| Ess | = *error steady state* |
| Rss | = Masukan sistem pada *steady state* |
| Css | = Keluaran sistem pada *steady state* |
| ISE | = *Integral Square error* |
| Kp | = Konstanta *Proportional* |
| Ki | = Konstanta *Integrative* |
| Kd | = Konstanta *Derivative* |

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

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.

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

# BAB I

# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada zaman sekarang semakin canggih, semua peratan mulai dari peralatan elektrik, mekanik, hingga *software* yang ada pada saat ini saling berkesinambungan dalam menghasilkan produk atau peralatan baru[1]. Sejalan dengan perkembangan tersebut diperlukan peralatan produksi yang tepat dan memiliki performa yang baik untuk dapat menghasilkan produk yang baik juga. Motor listrik merupakan salah satu peralatan yang sering digunakan dalam bidang industri sebagai alat penggerak, dan motor listrik yang sering dipakai adalah jenis motor induksi tiga fasa[2].

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling sering digunakan di dalam industri jika dibandingkan dengan motor lain. Ini karena motor induksi memiliki beberapa keunggulan seperti, memiliki bagian konstruksi yang sederhana, kekokohan mekanik yang baik, dan dapat langsung dihubungkan ke sumber daya AC[3]. Selain beberapa keunggulan yang sudah disebutkan diatas, sulitnya pengendalian kecepatan motor induksi tiga menjadi salah satu kelemahan pada sistem ini. Sifat nonlinier pada arus dengan torsi yang dihasilkan menyebabkan pengaturan kecepatan motor induksi jauh lebih sulit dibandingkan dengan motor arus searah. Padahal dalam aplikasinya motor induksi seringkali dituntut untuk bekerja pada kecepatan yang sudah ditentukan (*setpoint*) dengan konstan walaupun dengan beban yang berbeda[4]. Permasalahan ini dapat mempengaruhi performansi pada motor induksi tiga fasa, contohnya pada industri kertas, motor induksi tiga fasa dituntut untuk dapat bekerja pada kecepatan yang konstan agar dapat menghasilkan kertas dengan ketebalan yang merata, sementara itu dari permasalahan diatas dapat menyebabkan kecepatan motor induksi tiga fasa tidak konstan dan dapat berdampak pada hasil produksi kertas tersebut[5]. Oleh karena itu diperlukan sebuah kontroler yang dapat mempertahankan agar kecepatan motor induksi 3 fasa bisa konstan.

Beberapa penelitian dalam pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa telah dilakukan, seperti pada penelitian motor induksi tiga fasa, dengan menggunakan kendali *Fuzzy Logic Control* yang bertujuan mengendalikan lonjakan arus mula[6]. Kontrol logika *Fuzzy* tersebut melakukan perbandingan antara putaran motor dengan *setpoint* dengan cepat dan tepat hingga kecepatan motor mencapai *setpoint* yang diinginkan. Pada penelitian ini menghasilkan *rise time* sebesar 0.2 detik dan mencapai keadaan tunak dalam waktu 0.3 detik,

respon dari sistem juga stabil[6]. Penelitian lain yang bertujuan mengendalikan motor induksi tiga fasa yang digunakan sebagai penggerak mobil listrik yang juga menggunakan kendali *Fuzzy Logic* melakukan pengendalian pada kecepatan motor induksi tiga fasa dan menghasilkan respon sistem berupa tr = 25 detik, *ts* = sebesar 0.2 detik, dan masih memiliki *overshoot* sebesar 2.67% pada saat start motor[7]. Penelitian lain yang bertujuan mengendalikan kecepatan pada motor induksi tiga fasa dengan membandingkan kendali SMC (*Sling Mode Control*) dengan kendali SMC *hybrid* PID. Hasil yang didapatkan oleh peneliti yaitu penggunaan *hybrid* PID dengan SMC dapat mengatasi kelemahan kendali SMC, hal ini terbukti dengan hasil respon *transient* berupa maksimum *overshoot* yang dapat diminimalisir dari 9.69% saat menggunakan pengendali SMC saja menjadi 0.01% saat di *hybrid* menggunakan PID, lalu meminimalisir *error steady state*, serta mempercepat respon waktu saat diberikan pengendali PID[8]. Penelitian lain yang melakukan pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan metode kontrol *hybrid Fuzzy Mamdani* dan *Field Oriented*[9]. Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan *fuzzy* mamdani mampu menekan *overshoot* dan *steady state error* mendekati nol, serta *tr* dan *ts* yang relatif cepat[9].

Penelitian lain yang bertujuan memaksimalkan parameter PID secara langsung dengan memperhatikan apa saja perubahan pada plant dan gangguan yang timbul menggunakan kontrol berbasis logika *Fuzzy* dan diujikan pada motor BLDC yang merupakan sistem non linier. Penelitian ini melakukan pengujian dengan beban dan tanpa beban serta pengujian perubahan setpoint. Dari simulasi tersebut menghasilkan karakteristik respon sistem kendali PID dengan nilai yaitu 0,025 detik pada *rise time* , *settling time* 0,1625 detik, dan 15,98% *overshoot.* Sedangkan *tuning fuzzy* PID menghasilkan 0,0025 detik pada *rise time,* 0,057 detik pada *settling time,* dan *overshoot* 5,42%. Hasil karakteristik respon sudah cukup stabil, namun dengan aturan fuzzy yang banyak yaitu 49 aturan [10].

Pada penelitian berikut menggunakan *Self Tuning Fuzzy* PI untuk pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler,* dapat mengurangi overshoot sebesar 3,4% dan mengurangi error sebesar 55,8%, sedangkan pada sistem temperatur dapat mempercepat *rise time* (tr) sebesar 0,6 menit dan *settling time* 7,6 menit. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa penggunaan logika *fuzzy* pi berfungsi sebagai *tuning* yang dapat memperbaiki respon transient dan respon steady state. Kemudian kontrol *self tunning fuzzy* PI juga dapat mengatasi gangguan yang terjadi secara tiba-tiba dan perubahan setpoint dengan mencari nilai kp dan ki yang tepat [11].



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

Dapat dilihat dari beberapa penelitian sebelumnya dan respon keluaran *open loop* motor induksi tiga fasa, bahwa motor induksi tiga fasa masih belum dapat mencapai *setpoint* sehingga memiliki *error steady state*, hal ini dapat mempengaruhi perfomansi motor induksi tiga fasa. Pada penelitian ini penulis mencoba menambahkan pengendali PID yang dapat digunakan untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik pada motor induksi tiga fasa, karena menurut referensi[12] menunjukkan bahwa PID mengandung konstanta *proportional* (P) yang dapat mempercepat respon waktu keluaran, pengendali *integral* (I) dapat mereduksi *error steady state* dan dapat meredam osilasi dan *derivative* (D) dapat menurunkan atau meredam *Overshoot*[12].

*Self- tuning fuzzy control* ialah sesuatu algoritma *fuzzy* yang sanggup menyesuaikan diri dengan pergantian lingkungan ataupun *plant*. Kelebihan ini cocok diterapkan pada motor induksi 3 fasa sebab mempunyai ciri yang rentan terhadap pergantian beban. Metode pengontrolan memakai logika *fuzzy* ini mempunyai metode yang lebih sederhana dalam membagikan keputusan sama halnya seperti manusia berpikir, dengan menafsirkan informasi serta menemukan cara atau solusi yang kebih tepat. Logika fuzzy bisa menanggulangi sistem non linear serta pula bisa bekerja sama dengan metode kendali konvensional, dan desain yang lebih simpel serta tidak sulit untuk penerapannya[13]. Hal ini teruji dari riset yang sudah dilakukan oleh Roedy Kristiyono dan Wiyono[10], dan Pardomuan Andre, dkk [11] pengendali PID yang dikombinasikan dengan logika *fuzzy* dapat memperbaiki respon *transient* dan respon *steady state*. Penggunaan pengendali tersebut pula bisa menanggulangi kendala yang terjadi seketika dan perubahan *setpoint* dengan mencari nilai kp, ki serta kd yang tepat.

Pada penelitian ini peneliti melakukan perancangan menggunakan pengendali *Tuning-PID* menggunakan *Fuzzy Logic*, metode fuzzy yang dipilih dalam penelitian adalah metode *fuzzy* mamdani, untuk penalaan nilai Kp, Ki, dan Kd dengan melaksanakan percobaan menggunakan metode heuristic, Berdasarkan hal tersebut penulis tertarik untuk mengaplikasikan "Desain Kendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* Untuk Pengendalian Kecepatan pada Motor Induksi Tiga Fasa" dengan tujuan memperoleh respon *transient* yang optimal dan meminimalisir *error steady state*. Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan pengujian *open loop*, lalu melakukan pengujian dengan menggunakan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic*, dan terakhir melakukan pengujian dengan memberikan gangguan sinyal kendali sebesar 6% dan 8%.



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

UIN SUSKA RIAU

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

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

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana performansi motor induksi tiga fasa setelah diberikan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* ?
2. Bagaimana menentukan kombinasi konstanta P, I dan D yang terbaik untuk mengatasi masalah pada respon keluaran *plant* seperti *error steady state* ?
3. Bagaimana performansi pengendali dalam menangani gangguan sinyal kendali yang diberikan ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini ada sebagai berikut :

1. Membuat *plant* yang mampu menghasilkan respon keluaran yang optimal saat diberikan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic*
2. Mendapatkan konfigurasi pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* yang teruji mampu mengatasi *error steady state* serta menghasilkan respon keluaran yang optimal saat menggunakan pengendali.
3. Menganalisa respon keluaran *plant* setelah diberikan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy* dan menganalisa respon keluaran setelah diberikan gangguan sinyal kendali

## 1.4 Batasan Masalah

Diperlukan batasan masalah agar pembahasan pada penelitian ini tidak terlalu luas, maka penulis membatasi penelitian sebagi berikut :

1. Pemodelan matematis dan *setpoint* dari motor induksi tiga fasa berdasarkan penelitian sebelumnya[1].
2. Penelitian ini menggunakan *fuzzy mamdani*.
3. Penelitian ini menggunakan 3 fungsi keanggotaan pada *fuzzy*, yaitu N, Z, dan P.
4. Penentuan *input* dan *output fuzzy* menggunakan *tuning PID*.
5. Gangguan sinyal kendali berupa penurunan kecepatan sebesar 6% dan 8%
6. Pada penelitian ini tidak membahas hardware.
7. Perancangan dan simulasi kendali menggunakan *software Matlab* R2016a.
8. Analisis dilakukan hanya berdasarkan data hasil simulasi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

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

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

UIN SUSKA RIAU

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

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

# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Penelitian Terkait

Pada penelitian Tugas Akhir ini, penulis melakukan studi literatur dengan melakukan pencarian teori rujukan yang berhubungan dengan masalah yang ingin penulis selesaikan. . Literatur *review* ini dilakukan agar mendapatkan teori dan referensi yang berhubungan dengan permasalahan yang ingin diselesaikan. Referensi yang terkait dengan "Desain kendali *Tuning PID-Fuzzy Logic* untuk pengendalian kecepatan pada motor induksi tiga fasa" dapat dilihat dari penelitian-penelitian terkait seperti berikut.

Pada penelitian dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* pada motor induksi tiga fasa yang bertujuan mengendalikan lonjakan arus mula. Kendali *fuzzy* ini digunakan sebagai pembanding antara *setpoint* dengan kecepatan putar motor secara langsung dan mengambil tindakan langsung sehingga dapat mencapai *setpoint* yang diinginkan. Pada penelitian ini menghasilkan *rise time*=0.2 detik dan ts=0.3 detik, respon dari sistem juga stabil, namun dengan aturan *Fuzzy* yang banyak yaitu 49 aturan[6]. Penelitian lain yang bertujuan mengendalikan motor induksi tiga fasa yang digunakan sebagai penggerak mobil listrik yang juga menggunakan kendali *Fuzzy Logic* melakukan pengendalian pada kecepatan motor induksi tiga fasa dan menghasilkan respon sistem berupa tr = 25 detik, *ts* = sebesar 0.2 detik, dan masih memiliki *overshoot* sebesar 2.67% pada saat start motor[7]. Penelitian lain yang bertujuan mengendalikan kecepatan pada motor induksi tiga fasa dengan membandingkan kendali SMC (*Sling Mode Control*) dengan kendali SMC *hybrid* PID. Hasil yang didapatkan oleh peneliti yaitu penggunaan *hybrid* PID dengan SMC dapat mengatasi kelemahan kendali SMC, hal ini terbukti dengan hasil respon *transient* berupa maksimum *overshoot* yang dapat diminimalisir dari 9.69% saat menggunakan pengendali SMC saja menjadi 0.01% saat di *hybrid* menggunakan PID, lalu meminimalisir *error steady state*, serta mempercepat respon waktu saat diberikan pengendali PID[8]. Penelitian lain yang melakukan pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan metode kontrol *hybrid Fuzzy Mamdani* dan *Field Oriented*[9]. Hasil pengujian dan respon menunjukkan penggunaan kendali *hybrid fuzzy mamdani* dengan *field oriented* dapat mempercepat ts serta tr dan menghasilkan respon keluaran yang stabil[9].

Penelitian lain yang bertujuan memaksimalkan kendali PID secara langsung dengan memperhatikan apa saja perubahan pada plant dan gangguan yang muncul pada saat

menggunakan kendali fuzzy dan diujikan pada motor BLDC yang termasuk sistem nonlinier. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada motor BLDC dengan beban dan tanpa beban serta pengubahan *setpoint*. Dari hasil penelitian tersebut diambil kesimpulan bahwa proses pengendali kontrol sistem tuning PID dengan logika *fuzzy* bisa meningkatkan kinerja dari kendali PID, dan dapat dibuktikan dengan hasil respon keluaran yang stabil. Namun masih dengan aturan *fuzzy* yang cukup banyak dengan 49 aturan [10].

Penelitian lain yang bertujuan mengendalikan *steam drum boiler* dengan menggunakan kendali *self tuning fuzzy PI*, dengan variabel yang diamati berupa ketinggian air serta temperatur uap. Menunjukkan bahwa penggunaan kendali Self Tuning Fuzzy PI sanggup mengadaptasi parameter P serta I pada kendali PI konvensional, sehingga sistem tetap bisa bekerja optimal walaupun terjadi ganguan pada sistem. Dari hasil simulasi menampilkan bahwa pengendali dapat bekerja maksimal dengan meminimalisir overshoot serta error setady state pada tiap variabel yang dikendalikan. Pengendali tersebut pula bisa menanggulangi pergantian setpoint dengan mencari nilai kp serta ki yang cocok untuk sistem[11].

Dari sebagian riset literatur yang telah dicoba oleh peneliti terdahulu dengan beberapa sistem yang sudah dianalisa menggunakan beberapa pengendali, masih terdapat *error steady state* dan respon sistem yang kurang maksimal. Dari penelitian di atas, pengendali *PID* Tuning Menggunakan Logika *Fuzzy* berperan baik dalam memperbaiki respon *transient* pada *plant*. Dalam hal ini, terkait pengendalian kecepatan pada sistem motor induksi tiga fasa masih belum ada yang menggunakan pengendali tersebut. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian terhadap sistem motor induksi tiga fasa dengan menggunakan pengendali PID *Tuning* Menggunakan Logika *Fuzzy* untuk mengatasi permasalahan seperti *error steady state* serta mendapatkan respon sistem yang optimal.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa adalah motor listrik yang berfungi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan menggunakan listrik arus bolak-balik (AC). Motor induksi tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor, bagian rotor dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara (air gap)[14].



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

Gambar 2. 1 Bentuk Umum Motor Induksi Tiga Fasa[14]

Motor induksi 3 fasa mempunyai 2 komponen yang mendasar yaitu rotor bagian yang dapat berputar dan stator bagian yang tidak berputar, bagian rotor dan stator ini dipisahkan oleh air gap dengan jarak antara 0, 4 milimeter hingga 4 milimeter[15]. Motor induksi 3 fasa beroperasi dengan menggunakan tegangan 380-450 VAC, dengan 3 gelombang fasa sekaligus. Hal ini menyebabkan motor induksi 3 fasa memiliki keunggulan berupa energi mekanik yang lebih besar dibandingkan dengan motor yang lainnya sehingga dapat dimanfaatkan pada industri besar sebagai alat penggerak[14].

### 2.2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3 phasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 phasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik (Emf) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor.

Kumparan rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum Lentz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi. Bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Dan apabila sumber tegangan tiga fasa dihubungkan ke terminal stator maka pada kumparan tegangan (stator) akan timbul arus yang menghasilkan fluks. Fluks



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

UIN SUSKA RIAU

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

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

Pada stator biasanya konstan, kecepatan medan putar stator dapat di tulis dengan menggunakan rumus sebagai berikut[2] :

$$Ns = \frac{120.f}{P} \tag{2.1}$$

Dimana :

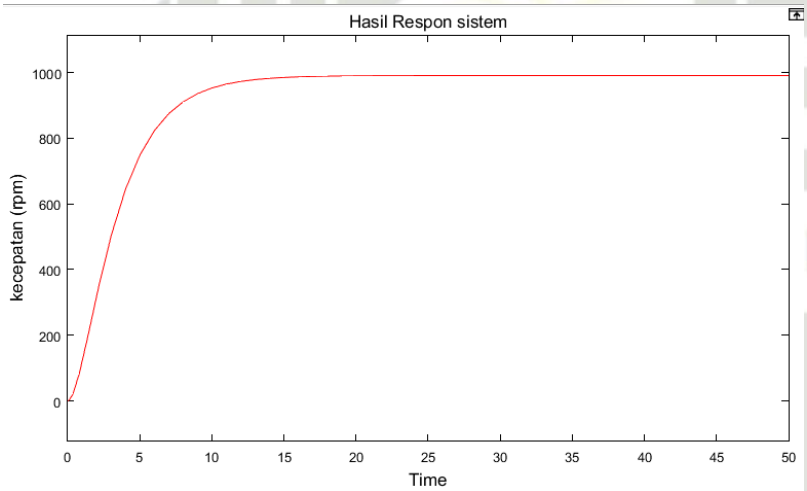
Ns = Kecepatan putaran stator (rpm)

f = frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

### 2.2.3 Identifikasi Sistem

Pada tahap ini terlebih dulu dilakukan identifikasi secara *Open loop* dengan memberikan sinyal uji *step* dengan *setpoint* 1000 rpm, kemudian hasil respon *plant* yang terbaca oleh *rotary encoder* diproses dan diterima oleh PLC Mitsubishi lalu ditampilkan di komputer.




Gambar 2. 2 Respon asli dari hasil uji *step* (*plant* sebenarnya)

Lalu salah satu sampel yang didapatkan dan diterapkan pada 6 model pendekatan berdasarkan penelitian oleh Ing Pavel Jakoubek[16].

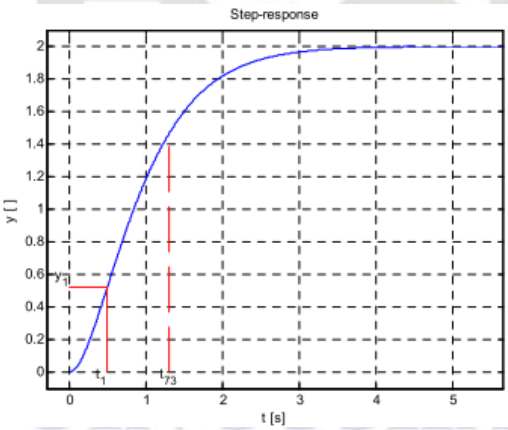
UIN SUSKA RIAU

| No | Metode | Model Matematika | ISE |
|---|---|---|---|
| 1 | Vitekova Orde 1 | $\frac{0{,}991366548}{3{,}1407s+1}e^{-8341954s}$ | 66,583 |
| 2 | Vitekova Orde 2 | $\frac{0{,}991366548}{4{,}0121s^2+4{,}0060s+1}$ | 57,170 |
| 3 | Latzel | $\frac{0{,}991366548}{21{,}4403s^2+9{,}2607s+1}$ | 2,024,155 |
| 4 | Sundaresan & Krishnaswamy | $\frac{0{,}991366548}{2{,}2594s+1}e^{-1311198s}$ | 56,824 |
| 5 | Smith | $\frac{0{,}991366548}{11{,}56s^2+12{,}24s+1}$ | 2,897,477 |
| 6 | *Harriot* | $\frac{0{,}991366548}{2{,}7641s^2+3{,}7028s+1}$ | 39,301 |
| 7 | Strejc | $\frac{0{,}991366548}{2{,}0442s^2+3{,}7243s+1}$ | 51,899 |

Gambar 2. 3 Tabel Perbandingan Pendekatan Model[1]

Dari beberapa model dilakukan validasi *Integral Square Error* (ISE) untuk mengetahui model sistem yang paling mendekati dengan respon asli *plant*, sehingga diputuskan menggunakan metode *Harriot* sebagai metode identifikasi model matematis karena nilai ISE yang didapatkan memiliki nilai paling kecil jika dibandingkan dengan metode yang lain yang artinya model *Harriot* merupakan model yang paling mendekati respon asli[1].

### 2.2.4 Metode *Harriot*




Gambar 2. 4 *step respon* dari sistem dengan waktu $t_i$ dan $t_{73}$[16]

Metode *Harriot* adalah salah satu metode yang bisa digunakan yang ditulis oleh Ing Pavel Jakoubek[16]. Pada metode *Harriot*, pendekatan sistem dengan model matematika ditunjukkan seperti persamaan berikut[16].



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

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

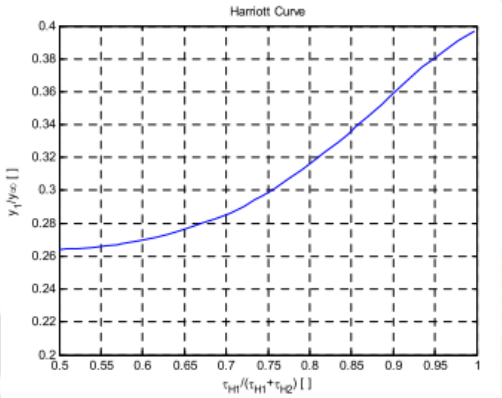
$$G_H(s) = \frac{K}{(\tau_{H1}s+1)(\tau_{H2}s+1)} e^{-T_{DH}s} \quad (2.2)$$

Tentukan nilai $t_{73}$ yaitu saat respon output bernilai 73% dari $y_{ss}$, lalu hitung nilai $T_{dH}$ , $\tau_{H1} + \tau_{H2}$, dan $t_i$ melalui persamaan :

$$T_{dH} = 1{,}937t_{33} - 0{,}937t_{70} \quad (2.3)$$

$$(\tau_{H1} + \tau_{H2}) = \frac{t_{73}}{1.3} \quad (2.4)$$

$$t_i = \frac{\tau_{H1} + \tau_{H2}}{2} \quad (2.5)$$




Gambar 2. 5 Kurva *Harriot*[16]

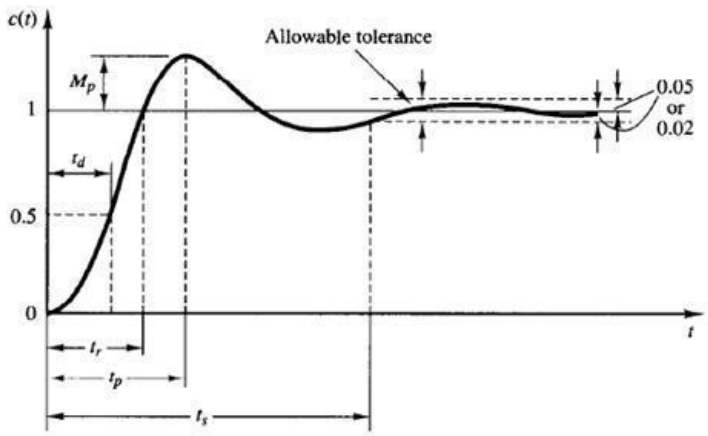
Tentukan nilai $y_i$ yaitu nilai respon saat mencapai $t_i$ pada grafik. Setelah itu didapatkan nilai $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$ dari hasil yi/yss.

Dengan mensubstitusi nilai $(\tau_{H1} + \tau_{H2}) = \frac{t_{73}}{1.3}$ ke persamaan $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$ maka didapatkan nilai $\tau_{H1}$ dan $\tau_{H2}$ [16].

Setelah didapatkan nilai $\tau_{H1}$ dan $\tau_{H2}$ serta nilai K, lalu dimasukkan ke persamaan 2.2 untuk mendapatkan persamaan matematis dari motor induksi tiga fasa

## 2.3 Identifikasi Respon *Transient*

Pada sistem motor induksi tiga fasa variabel kecepatan merupakan sistem berorde dua, sistem orde dua adalah sistem yang mempunyai fungsi alih dengan pangkat s paling tinggi yaitu 2. Biasanya dinyatakan dengan rasio redaman ζ, frekuensi alami tak teredam $\omega_n$. Identifikasi sistem yang mengacu pada respons *transient* sistem dalam kondisi loop terbuka. Metode ini mengidentifikasi sistem berdasarkan pengamatan grafis terhadap masukan *step* [17].




Gambar 2. 6 Respon Sistem Orde dua[12]

Respon transient terbagi atas [18]:

1. Spesifikasi praktis
   a. Waktu tunak (*settling time/ts*), merupakan keluaran hasil waktu respon sistem saat mencapai daerah kestabilan, umumnya antara 2% dan 5%
   *b.* Waktu naik (*rise time/*tr), merupakan keluaran waktu yang manampilkan respon sistem telah meningkat dari 5% hingga 95% dari nilai respon *steady state.*
   c. Waktu tunda (*delay time/td*), merupakan waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai 50% dari nilai steady state, dari t=0. Waktu tunda menggambarkan besarnya aspek tunda reaksi yang diakibatkan oleh proses *sampling.*
   d. *Overshoot* maksimum, merupakan nilai puncak maksimum dari grafik respon keluaran yang dihasilkan oleh sistem. Batas maksimum nilai *overshoot* adalah 100%.
   e. Waktu puncak atau *peak time (tp)*, merupakan waktu yang dibutuhkan oleh *plant* untuk mencapai *overshoot* pertama.
   f. Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* .

$$Ess = Rss - Css$$

keterangan :

Ess = *error steady state*

Rss = Masukan nilai pada *steady state*

Css = Keluaran nilai pada *steady state*



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

UIN SUSKA RIAU

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

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

## 2.4 Sistem Kendali

Sistem kendali bisa dimengerti sebagai perintah yang aktif dan dinamis. Perancangan sistem kendali merupakan pengaturan, pengurutan, ataupun mengorientasikan suatu elemen yang disesuaikan[19]. Sistem kontrol didefinisikan sebagai hubungan antara berbagai komponen hidrolik, listrik, mekanik dan bahkan parameter dan variabel sosial, biologis, keuangan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan fungsionalitas yang diinginkan secara efisien dan akurat. Kemajuan dalam teori dan aplikasi kontrol otomatisasi saat ini menyediakan sistem dinamis dengan kinerja optimal, meningkatkan produktivitas, dan menyederhanakan operasi manual yang sering berulang. Akibatnya, banyak insinyur dan ilmuwan sekarang memiliki pemahaman yang baik tentang kontrol otomatis[12].

Berikut istilah-istilah dasar dalam sistem kendali[12]:

1. *Plant* merupakan alat atau suatu komponen yang dikendalikan ada sistem. Contohnya peralatan mekanik.
2. Proses merupakan alur atau mekanisme yang dikendalikan pada sistem. Contohnya dalam pengendalian sistem pembelahan cairan kimia, distilasi ialah sistem kontrol yang berfungsi dalam proses tersebut.
3. Variabel terkendali dan variabel termanipulasi. variabel terkontrol merupakan suatu kondisi yang dikendalikan dan variabel termanipulasi merupakan suatu kondisi yang prosesnya diubah oleh kendali sehingga dapat merubah nilai variabel yang dikendalikan. Contohnya keluaran sistem.
4. Gangguan (*disturbance*), merupakan hal-hal yang mempengaruhi stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan ini dapat disebabkan oleh sistem itu sendiri atau gangguan eksternal.
5. Sistem merupakan gabungan seluruh komponen yang saling berkaitan dan membentuk suatu kesatuan untuk mencapai sesuatu yang diinginkan.

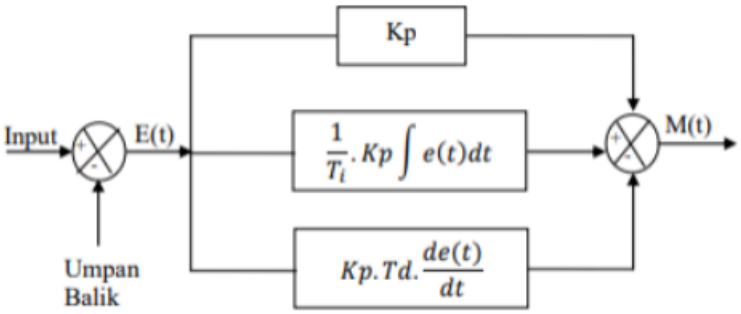
### 2.4.1 Pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID)

Pengendali PID adalah kombinasi tiga *controller* yaitu *controller Proportional, Integral*, dan *Derivative. Controller* PID masing-masing memiliki keunggulan tersendiri yaitu pada konstanta *proportional* (P) yang dapat mempercepat respon waktu sistem, pengendali *integral* (I) dapat mereduksi ess pada sistem sehingga respon keluaran sistem tidak mengalami osilasi dan *derivative* (D) dapat menurunkan atau meredam *Overshoot/Undershoot* [12]. Pengendali *proportional* biasanya diberi simbol P pada sistem kendal PID. Peranan kendali P pada sistem, yaitu dapat mempercepat tr dan ts pada respon

*transient*, dapat mengurangi atau bahkan meningkatkan kestabilan sistem, dan juga pengendali P dapat mereduksi *error steady state* pada dengan menaikkan nilai Kp, tetapi apabila nilai Kp terlalu tinggi maka *overshoot* yang dihasilkan semakin tinggi dan menghasilkan osilasi pada sistem.

Pengendali *integral* atau biasa ditulis I memiliki fungsi meminimalisir *error steady state* pada sistem sehingga respon sistem tidak mengalami osilasi. Pada pengendali I terdapat kekurangan yaitu jika nilai pengendali I terlalu tinggi maka dapat membuat sistem tidak stabil dan memiliki *overshoot* yang tinggi.

Pengendali *derivative* atau dapat ditulis D berfungsi sebagai peredam *Overshoot* dan meningkatkan kestabilan pada sistem. Pengendali D memiliki kekurangan yang bisa menyebabkan tr pada sistem semakin lama, dan pengendali D ini tidak bisa berdiri sendiri.




Gambar 2. 7 Blok Diagram Kontroler PID[12]

## 2.5 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* merupakan sistem cerdas yang ditemukan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Fungsi logika *fuzzy* adalah untuk membedakan suatu himpunan menurut derajat keanggotaannya dengan batas-batas yang tidak pasti. Teori himpunan ini merupakan pengembangan dari teori himpunan tegas, yang dibuat dari cara manusia memahami nilai-nilai tak tentu[13]. Nilai keanggotaan pada *Fuzzy* tidak hanya 0 atau 1, tetapi menghasilkan nilai antara 0 dan 1. Misalnya, suhu ruangan hanya memiliki dua nilai dalam satu set tetap, 0 untuk dingin dan 1 untuk panas. Antara 0 dan 1 bisa menjadi dingin, hangat dan normal. Dalam perancangan kendali *fuzzy* dibagi menjadi tiga tahapan yaitu fuzzifikasi, sistem inferensi *fuzzy* dan defuzzifikasi. Hasil dari proses tersebut bergantung pada variabel fuzzy, batas himpunan *fuzzy* dan variabel *non-fuzzy* [13].

Berikut istilah-istilah yang ada dalam *Fuzzy* yaitu [13]:

1. *Knowledge Base*, merupakan ketentuan *fuzzy* dalam wujud *statement* IF-THEN.



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

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

2. Fuzzifikasi, merupakan proses pengubahan masukan sistem menjadi variabel yang bernilai kalimat menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan *fuzzy*.
3. *Inference system*, merupakan proses pengubahan masukan fuzzy menjadi keluaran fuzzy dengan cara mengikuti aturan IF-THEN yang telah ditentukan pada basis pengetahuan fuzzy.
4. *Defuzzyfication*, berfungsi untuk mengubah keluaran fuzzy yang diperoleh dari inferensi system menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yamg sesuai dengan yang dilakukan fuzzifikasi.

### 2.5.1 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu himpunan yang menyatakan keadaan maupun kondisi di dalam suatu sistem dan dibuat sesuai dengan pernyataan yang digunakan untuk memperbesar jangkauan fungsi dar karakteristik yang telah ditentukan sampai fungsi tersebut menyangkut pada bilangan *real* dengan *range* (0,1)[20]. Dalam himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan selalu berada antara 0 dan 1. Terdapat 2 atribut dalam himpunan *fuzzy*, sebagai berikut :

1. Linguistik merupakan penamaan sebuah kelompok yang mewakili situasi aau keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa alami dingin, hangat, panas.
2. Numeris merupakan sebuah nilai yang memperlihatkan besar kecilnya suatu variabel. Seperti 10, 20, 45.

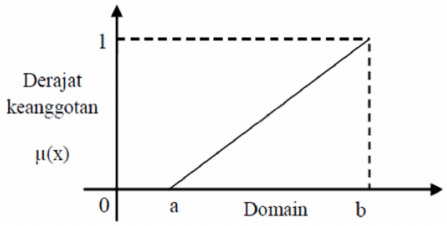
### 2.5.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan merupakan kurva yang menampilkan derajat keanggotaan setiap *input* dengan nilai berkisar dari 0 sampai 1. Derajat keanggotaan dalam suatu himpunan *Fuzzy* (*degree of membership*) dilambangkan dengan μ [13].

Bentuk dari *Membership Function* terdiri dari beberapa bentuk. Pada penelitian ini penulis hanya akan membahas fungsi keanggotaan yang akan digunakan dalam pemodelan sistem *Fuzzy*. Beberapa diantaranya yaitu [13]:

1. Representasi Linear naik

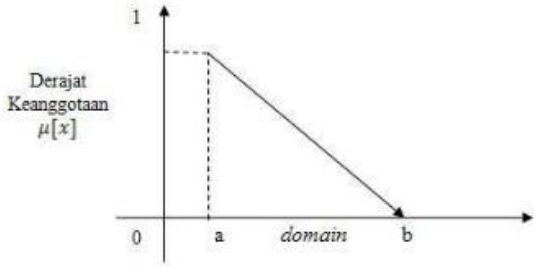
Pada himpunan ini, himpunan *fuzzy* dimulai dari derajat keanggotaan terendah hingga yang lebih tinggi, dan digambarkan sebagai garis lurus nilai derajat keanggotaan terendah ke yang lebih tinggi seperti pada gambar 2.8 berikut.




Gambar 2. 8 Representasi Linear Naik [13]

2. Representasi Linear Turun

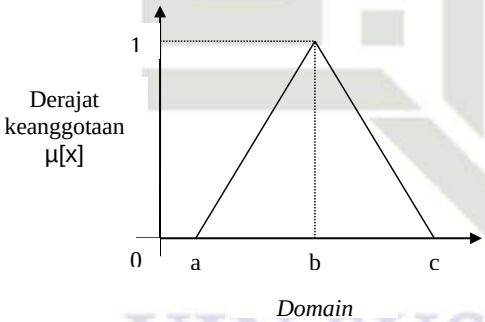
Bentuk grafik ini bergerak dari sebelah kiri dengan nilai paling tinggi ke nilai lebih rendah sebelah kanan seperti pada gambar 2.9 berikut.




Gambar 2. 9 Representasi Linear Turun [13]

3. Representasi Segitiga

Adalah bentuk representasi yang sering digunakan dengan menggabungkan representasi linear naik dan representasi linear turun seperti pada gambar 2.10 berikut.



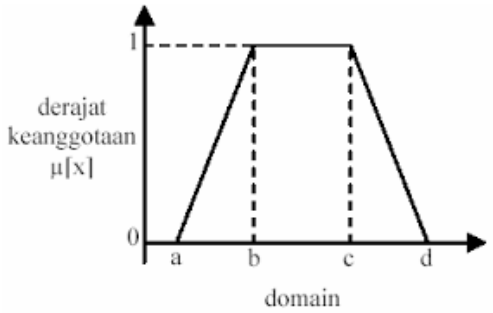

Gambar 2. 10 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga [13]

4. Representasi Trapesium

Hampir persis dengan grafik segitiga, hal yang membedakan representasi trapesium terletak pada anggota himpunan yang memiliki nilai satu untuk di beberapa titik untuk derajat keanggotaannya.



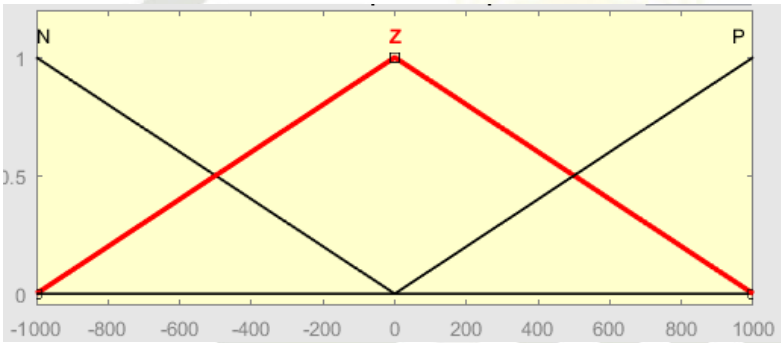
UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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




Gambar 2. 11 Representasi Trapesium [13]

### 2.5.3 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses dimana variabel *input* dan *output* yang berbentuk nilai tegas diubah kedalam bentuk himpunan *fuzzy*. *Range* nilai pada variabel *input* dibagi menjadi beberapa himpunan *Fuzzy* dan tiap anggota himpunan memiliki derajat keanggotaan tertentu. Derajat keanggotaan himpunan *Fuzzy* dapat dihitung dengan menggunakan rumus fungsi keanggotaan dari segitiga fuzzifikasi [21]. Agar dapat menggunakan fuzzifikasi *input* dan *output* harus terpenuhi dengan memasukkan ke dalam variabel *linguistic*[13].




Gambar 2. 12 Contoh Fuzzifikasi

### 2.5.4 Inferensi *Fuzzy* (Logika Pengambilan Keputusan)

Inferensi *fuzzy* merupakan rangkaian komputasi yang menggunakan teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* JIKA-MAKA dan penalaan *fuzzy*. Struktur dasar dari sistem inferensi *fuzzy* terdiri dari 3 komponen, yaitu [13]:

a) Basis Aturan (*Rule Base*) adalah aturan *fuzzy* JIKA-MAKA
b) Basis data yang fungsi keanggotaan digunakan dalam aturan *fuzzy*.
c) Mekanisme penalaran yang menjalankan proses pengambilan keputusan berdasar aturan dan fakta diberikan untuk memperoleh keluaran atau kesimpulan.

Sistem *fuzzy* yang dihasilkan biasanya disebut sistem inferensi *fuzzy* (*fuzzy inference system* / FIS). Hal ini telah diterapkan secara efektif karena kemampuannya yang dapat menyesuaikan, misalnya di bidang perangkat keras, pemeriksaan pilihan, dan informasi.



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

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

Secara umum FIS yang terdapat tiga strategi yang digunakan yaitu Sugeno, Tsukamoto dan Mamdani, strategi yang sering digunakan adalah Mamdani. Metodenya hampir sama, hanya berbeda dalam menentukan *output* FIS nya saja.

### 2.5.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan cara yang dilakukan untuk mendapatkan nilai tegas (*crisp*) dari himpunan *fuzzy*. *Input* dari proses defuzzifikasi adalah himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari kombinasi aturan *fuzzy*, dan keluaran yang dihasilkan berupa bilangan pada domain himpunan *fuzzy*. Jadi jika diberikan himpunan *fuzzy* dalam suatu range tertentu, harus dapat mengambil nilai yang diberikan (*crisp*) sebagai keluarannya[13].

Ada beberapa bentuk metode Defuzzifikasi, yaitu [13] :

1. Metode *Centroid* /*Composite Moment*

   Pengambilan *crisp* dihasilkan dengan mengambil nilai titik tengah (z*) pada wilayah *fuzzy*.

2. Metode *Bisektor*

   Nilai *crisp* diperoleh dengan mengambil separuh domain *fuzzy* dari total seluruh nilai himpunan daerah *fuzzy*.

3. Metode *Of Maximum* (*MOM*)

   Nilai *crisp* diambil dari nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

4. Metode *Largest Of Maximum* (*LOM*)

   *Crisp* diperoleh dengan cara memilih nilai paling besar dari maksimum nilai keanggotaan

5. Metode *Smallest Of Maximum* (*SOM*)

   *Crisp* diperoleh dengan cara memilih nilai paling kecil dari nilai maksimum keanggotaan sebuah domain

Tabel 2. 1 Rangkuman Kriteria metode defuzzifikasi yang sering digunakan[13]

| | **CENTROID** | **MOM** | **LOM** | **SOM** | **BISEKTOR** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kontinuitas** | Bagus | Kurang bagus | Kurang bagus | Kurang bagus | Kurang bagus |
| **Disambiguitas** | bagus | bagus | bagus | bagus | Kurang bagus |
| **Plausabilitas** | Ya | Ya | Tidak | tidak | Ya |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Komputasi** | Kurang bagus | Bagus | bagus | Bagus | Kurang bagus |

### 2.5.6 Model *Fuzzy* Mamdani

*Fuzzy* mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. *Fuzzy* mamdani kerap disebut sebagai metode *sum.* dalam pemodelan *fuzzy* mamdani terdapat empat tahap yang perlu dilakukan yaitu[13]:

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

   Variabel *input* dan *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *Fuzzy*.
2. Aplikasi Fungsi Implikasi

   Fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*.
3. Komposisi Aturan

   Inferensi didapat dari kumpulan dan hubungan antar aturan. Terdapat tiga cara yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *Fuzzy*, yaitu *max*, *additive* dan *probabilistic OR* (*prob or*).
4. *Defuzzifikasi*

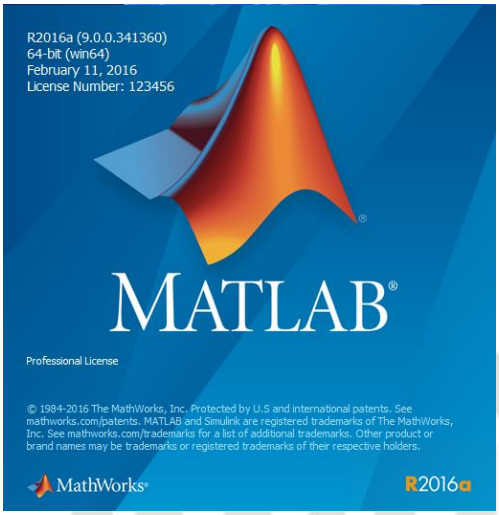
   Ada beberapa bentuk metode *defuzzifikasi* yang digunakan pada model *mamdani*, yaitu*: Centroid, Bisektor, Mean of Maximum, Largest of Maximum atau Smallest of Maximum.*

## 2.6 Metode Heuristik

Metode Heuristik adalah metode pemecahan masalah yang menggunakan eksplorasi dengan *trial and error* untuk menemukan solusi melalui analisis yang dirancang dengan mengubah parameter sesuai dengan kinerja sistem yang akan dikontrol. Pada pengendali *fuzzy* dilakukan dengan mencari nilai Kp, Ki, dan Kd yang digunakan sebagai *output* pada *fuzzy logic designer* hingga mendapatkan hasil respon keluaran yang baik.

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

## 2.7 MATLAB (*Matrix Laboratory*)




Gambar 2. 13 Matlab R2016a

Matlab (*Matrix Laboratory*) merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai analisis dan komputasi matematis. Matlab juga disebut sebagai bahasa pemrograman numerik yang dibentuk berdasarkan spekulasi dengan memanfaatkan sifat dan jenis matriks [22]. Matlab adalah produk yang dibuat oleh *Mathworks.Inc*. Produk ini menggunakan bahasa pemrograman tingkat yang tidak dapat disangkal berbasis grid untuk metode estimasi matematis untuk mengatasi masalah termasuk tugas numerik seperti komponen, kisi, perampingan, dan perkiraan. Matlab umumnya digunakan dalam aritmatika dan perhitungan, kemajuan dan perhitungan, mendemonstrasikan pemrograman, reproduksi, prototyping, pemeriksaan informasi, penyelidikan dan persepsi, penyelidikan matematika dan faktual, merancang peningkatan aplikasi, dan berbagai bidang[22].

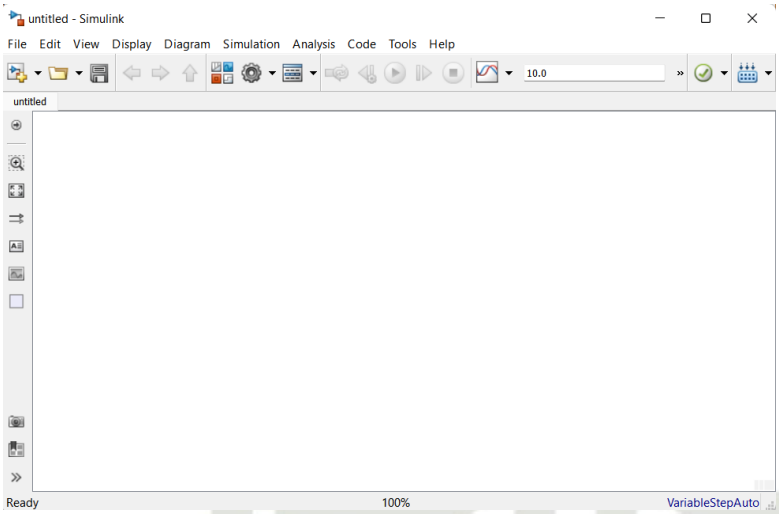
Beberapa bagian penting yang terdapat pada aplikasi Matlab adalah sebagai berikut[22]:

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 pada Matlab.

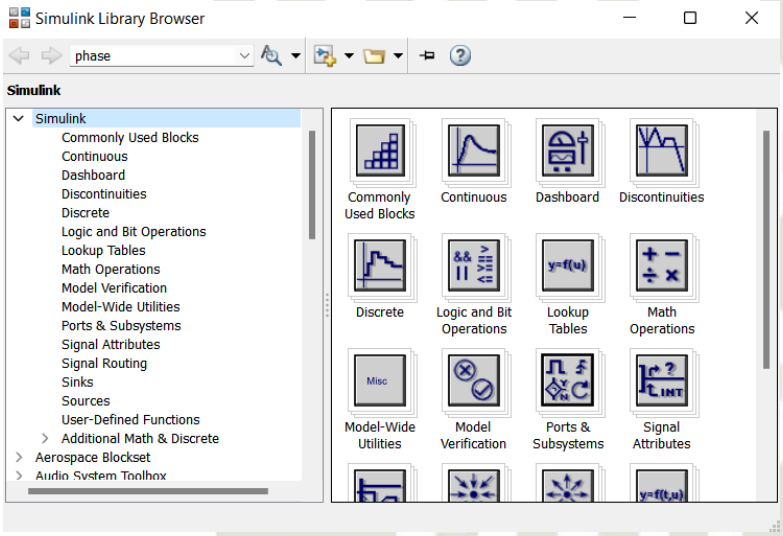
Pada penelitian ini aplikasi Matlab digunakan untuk pemrograman *modeling* dan simulasi untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan. Fitur Matlab yang digunakan untuk simulasi ini disebut *Simulink*.



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




Gambar 2. 14 Tampilan halaman *Simulink* pada *Matlab*




Gambar 2. 15 Tampilan *Simulink Library Browse*



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

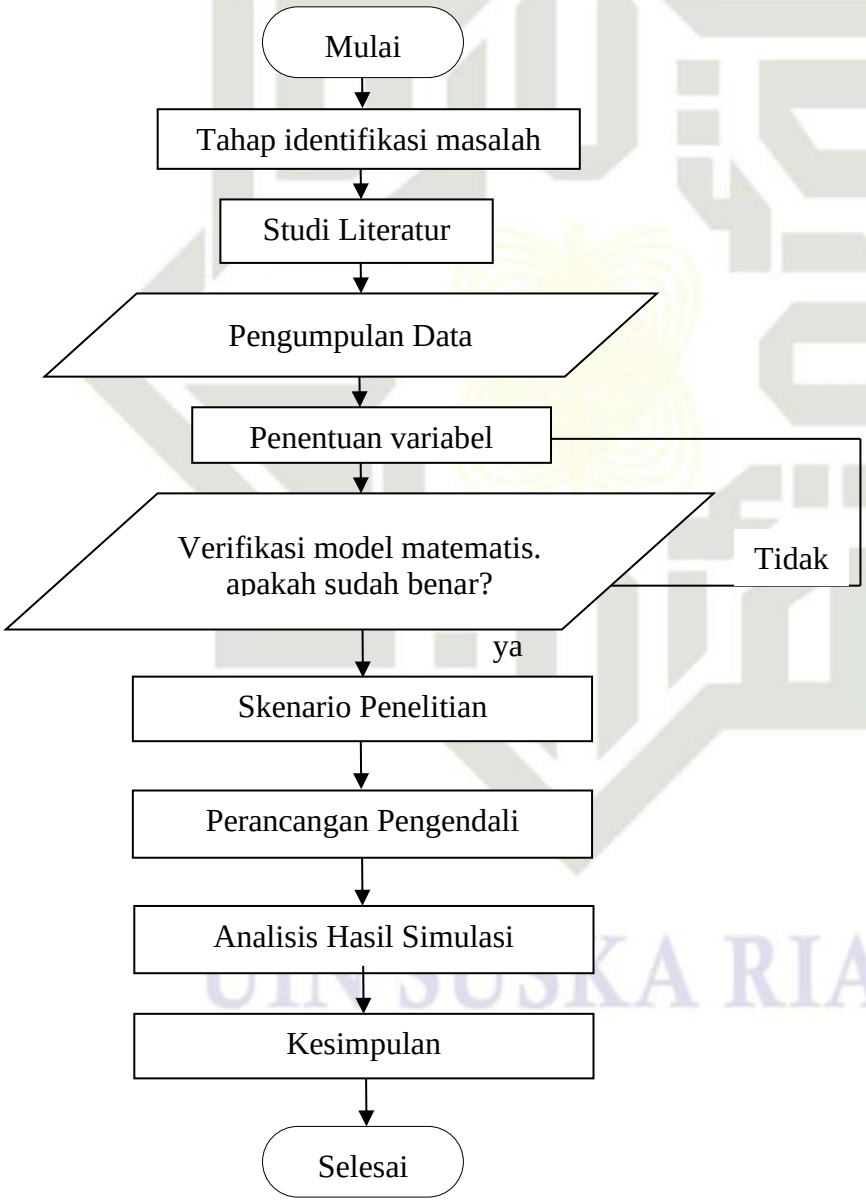
UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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

Penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahap yaitu penentuan judul, perumusan masalah, dan tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini, proses pemodelan sistem, dan mendesain pengendali sehingga mendapatkan hasil yang diinginkan serta memecahkan permasalahan dari penelitian tugas akhir ini. Adapun jenis penelitian ini bersifat simulasi. Alur penelitian ini dapat digambarkan melalui *flowchart* berikut:




Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

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.

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

## 3.2 Tahapan Penelitian

Berdasarkan *flowchart* penelitian pada gambar 3.1, untuk mencapai tujuan penelitian, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan yaitu :

1. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian Tugas Akhir ini memperkecil *error steady state* dan mengetahui performansi motor induksi 3 asa setelah diberikan pengendali PID dan *Fuzzy*.

2. Studi Literatur

Tahap pertama yang perlu dilakukan pada penelitian yaitu mencari dan mempelajari penelitian terkait dari beberapa referensi baik dari Jurnal, skripsi, buku atau sumber yang lainnya. Hal yang perlu dipelajari pada penelitian ini adalah pemodelan matematis motor induksi tiga fasa, pengendali model *fuzzy* dan pengendali PID.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini, data yang berkaitan dengan motor induksi tiga fasa dikumpulkan untuk mengetahui karakteristik dari sistem dan mengetahui pemodelan matematis motor induksi tiga fasa dalam bentuk *transfer function*.

4. Penentuan Variabel

Setelah nilai dari masing-masing variabel di dapatkan, kemudian variabel-variabel tersebut digunakan untuk menentukan pemodelan matematis sistem dalam bentuk *transfer function.*

5. Verifikasi Pemodelan Matematis

Validasi model matematis adalah tahap pengujian model matematis ke dalam bentuk *transfer function* dari sistem dan sudah diubah kedalam bahasa pemrograman Matlab *Simulink*, dan dilihat apakah hasil respon *open loop* sudah sesuai dengan rujukan motor induksi tiga fasa[1].

6. Skenario Penelitian

Adapun skenario penelitian yang akan dilakukan yaitu: melakukan simulasi secara *open loop*, melakukan simulasi menggunakan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic*, dan pengujian pengendali dengan memberikan gangguan berupa sinyal kendali sebesar 6% dan 8%.

7. Perancangan pengendali

Penelitian ini menggunakan pengendali *Fuzzy* yang dikombinasikan dengan PID untuk mengatasi *error steady state* yang terjadi dengan menggunakan pemodelan

matematis yang telah didapat pada tahap sebelumnya ke dalam program *Matlab Simulink* dengan *setpoint* yang sesuai dengan rujukan[1].

8. Analisa Hasil Simulasi

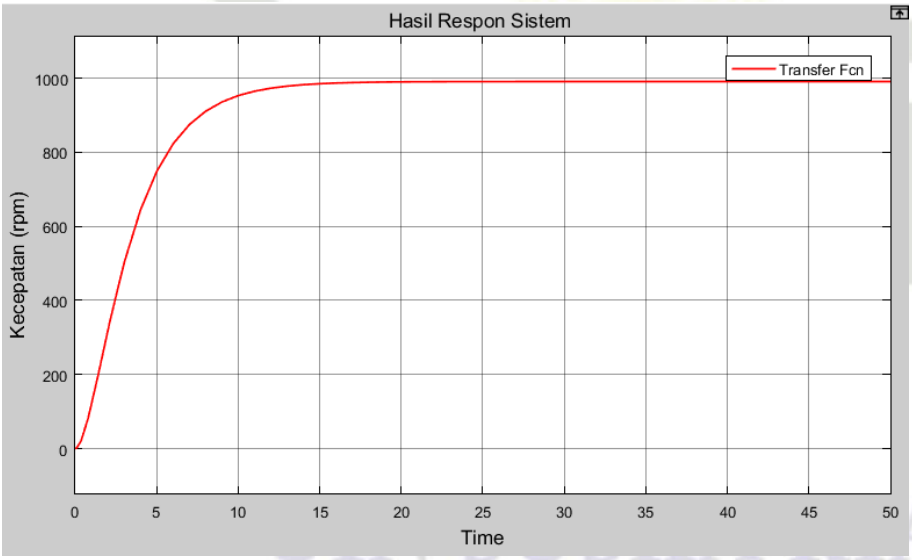
Setelah melakukan pengujian terhadap pengendali. Kemudian sistem motor induksi tiga fasa dianalisa hasil keluarannya dari setiap skenario penelitian yang dilakukan. Apakah pengendali mampu mengatasi permasalahan yang ada.

9. Kesimpulan dan Saran

Setelah analisa hasil didapatkan dan tujuan penelitian tercapai, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini, serta memberikan saran untuk dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

## 3.3 Pemodelan Matematis Motor Induksi Tiga Fasa

Berdasarkan persamaan 2.2 model fungsi alih seperti penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Ridho Utoro[1]. Motor induksi tiga fasa terlebih dahulu dilakukan pengujian secara *open loop* dan hasil respon yang terbaca pada *rotary encoder* di akuisisi dan ditampilkan melalui PLC Mitsubishi[1]. Persamaan fungsi alih pada penelitian ini menggunakan metode *harriot* berdasarkan paper penelitian yang ditulis oleh Ing Pavel Jakoubek[16].




Gambar 3. 2 Step respon motor induksi tiga fasa [1]

Berdasarkan gambar 3.2 diketahui sinyal masukan atau *Xss* = 1000 rpm dan respon keluaran adalah *Yss* = 991,366548 rpm. Sehingga didapatkan nilai *K* = *Yss/Xss* = 0.991366548 yang akan dimasukkan ke persamaan 2.2 dengan nilai $t_{73}$ = 4,8136998 detik. Nilai $T_{dH}$ , $\tau_{H1} + \tau_{H2}$ didapatkan pada persamaan :



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

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

$(\tau_{H1} + \tau_{H2}) = \frac{t_{73}}{1.3}$

$(\tau_{H1} + \tau_{H2}) = \frac{4.8136998}{1.3}$ = 3.702846 detik

Kemudian nilai $(\tau_{H1} + \tau_{H2})$ disubstitusikan kedalam persamaan berikut :

$\tau_i = \frac{\tau_{H1} + \tau_{H2}}{2}$

$\tau_i = \frac{3.702846}{2}$ = 1,851432 detik.

Selanjutnya didapatkan nilai yi pada grafik 3.2 dan didapatkan yi = 290 dan dapat ditentukan *yi/yss* = 0.290 dari kurva *Harriot* didapatkan nilai dari persamaan $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$ yaitu 0,7199999.

Dan disubstitusikan ke persamaan $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$ didapatkan nilai $\tau_{H1}$ dan $\tau_{H2}$ seperti berikut :

$\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$ = 0,7199999

$\tau_{H1}$ = $\tau_{H1} + \tau_{H2}$ x 0,7199999

$\tau_{H1}$ = 3.702846 x 0,7199999 = 2,66604875 detik

$\tau_{H1} + \tau_{H2} = 3.702846\ detik$

$\tau_{H2} = 3.702846 - 2.66604875$ = 1,03679725 detik

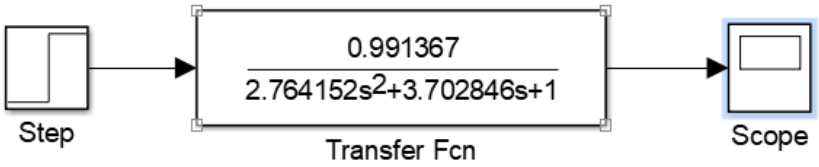
Setelah di dapatkan nilai $\tau_{H1}$ dan $\tau_{H2}$ serta nilai K, maka dimasukkan ke persamaan 2.2 dan dihasilkan persamaan sebagai berikut.

$$G_H(s) = \frac{0.991366548}{(2.66604875 + 1)(1,03679725 + 1)}$$

$$G_H(s) = \frac{0.991366548}{2.76415201s^2 + 3.702846s + 1} \quad (3.1)$$

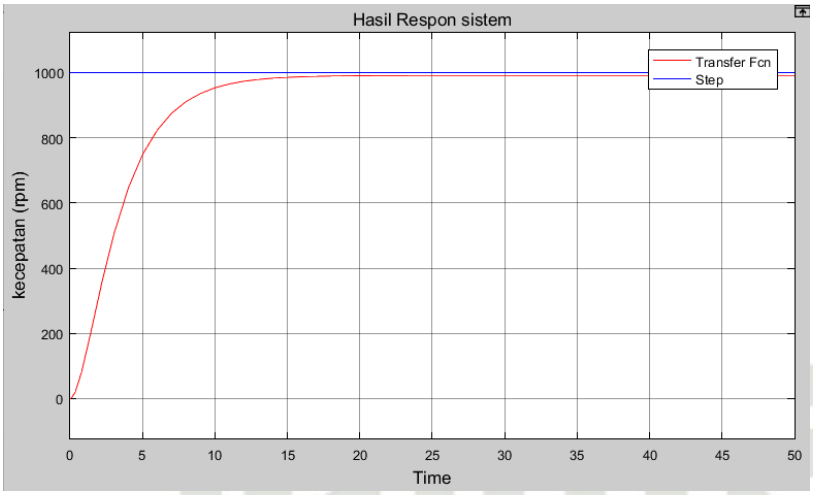
## 3.4 Verifikasi Pemodelan Matematis

Dilakukan pengujian dengan memasukkan nilai *transfer function* pada *Simulink* pada *time sampling* 50 detik. Simulasi pengujian dilakukan secara *open loop* seperti gambar 3.3 berikut.




Gambar 3. 3 Blok Diagram *Simulink open loop* motor induksi tiga fasa model *Harriot*

Dari gambar 3.3 nilai *transfer funciont* didapatkan dari persamaan 3.1. Berikut hasil grafik *open loop* dari sistem motor induksi tiga fasa.




Gambar 3. 4 Grafik *open loop* sistem motor induksi tiga fasa

Hasil keluaran *open loop* motor induksi tiga fasa menunjukkan respon keluaran yang stabil namun sistem tidak dapat mencapai *setpoint* yang sudah ditentukan. Berdasarkan penelitian sebelumnya[1], dapat kita lihat bahwa model matematis motor induksi tiga fasa sudah valid.

### 3.5 Skenario Penelitian

Penelitian ini menggunakan kendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* untuk mengendalikan kecepatan pada sistem motor induksi tiga fasa dengan menggunakan nilai yang sudah didapatkan dari pemodelan matematis ke dalam *Simulink*. Penelitian ini dilakukan beberapa pengujian dan dianalisa hasil grafik keluaran, data hasil tersebut merupakan respon *transient.* adapun kajian yang dilakukan yaitu :

1. Simulasi sistem secara *open loop*
2. Pengujian dengan menggunakan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* dengan setpoint 1000 rpm.
3. Pengujian pengendali terhadap gangguan sinyal kendali sebesar 6%
4. Pengujian pengendali terhadap gangguan sinyal kendali sebesar 8%

### 3.6 Perancangan Pengendali

Pada penelitian ini penulis menggunakan kendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* untuk mengendalikan kecepatan pada sistem motor induksi tiga fasa. Penelitian ini disimulasikan menggunakan *software* matlab. Logika *fuzzy* digunakan sebagai *tuning*



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

Parameter kontroler PID dengan *error* dan *delta error* sebagai *input* dan parameter Kp, Ki, dan Kd sebagai *output.* Tahapan dalam perancangan logika *fuzzy* terdiri dari fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, dan defuzzifikasi. Metode *tuning* yang digunakan adalah heuristik atau *trial-error*. Data yang dibutuhkan diambil dari respon *transient*, analisis kinerja metode dinilai berdasarkan respon *transient* pada beberapa kasus yang diujikan pada simulasi seperti pengujian secara open loop, pengujian terhadap pengendali, pengujian terhadap gangguan 5% dari *setpoint*. Parameter yang digunakan untuk analisis sistem kendali tersebut adalah keadaan tunak (*error steady state*), waktu tunda (*delay time*), waktu naik (*rise time*), *overshoot*, dan waktu tunak (*settling time*).

Pengujian dilaksanakan untuk melihat performansi sistem yang dikendalikan. Hasil pengujian dilihat dalam bentuk grafik. Penelitian ini dimulai dari menganalisa hasil pengujian tanpa menggunakan kendali, kemudian dilakukan rancangan dan pengujian terhadap pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic*. Dalam penelitian ini penulis menginginkan melakukan penelitian dengan tujuan menghasilkan:

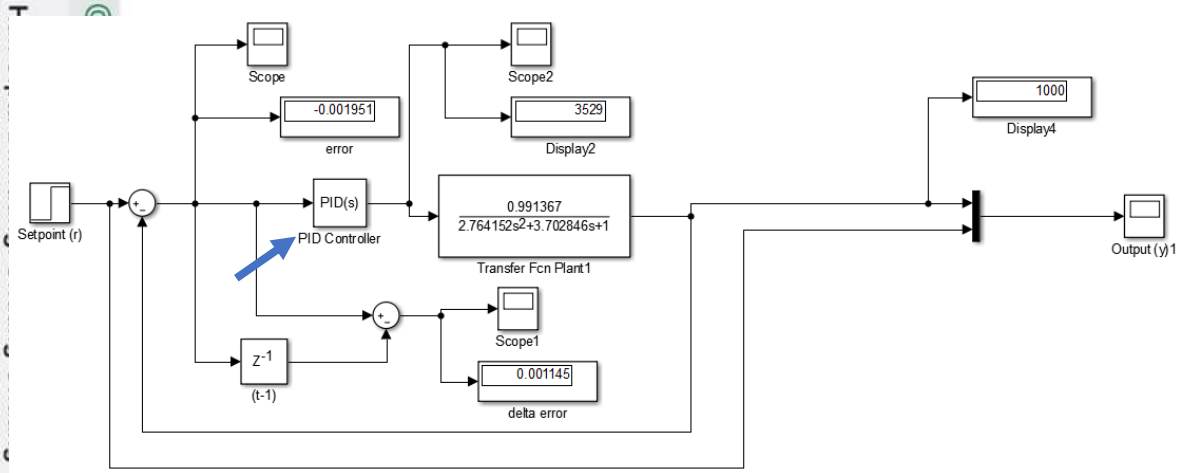
1. Respon *transient* yang optimal
2. Sistem mampu mencapai setpoint dan tidak ada *error steady state.*

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

### 3.6.1 Perancangan Pengendali *Tunning* PID

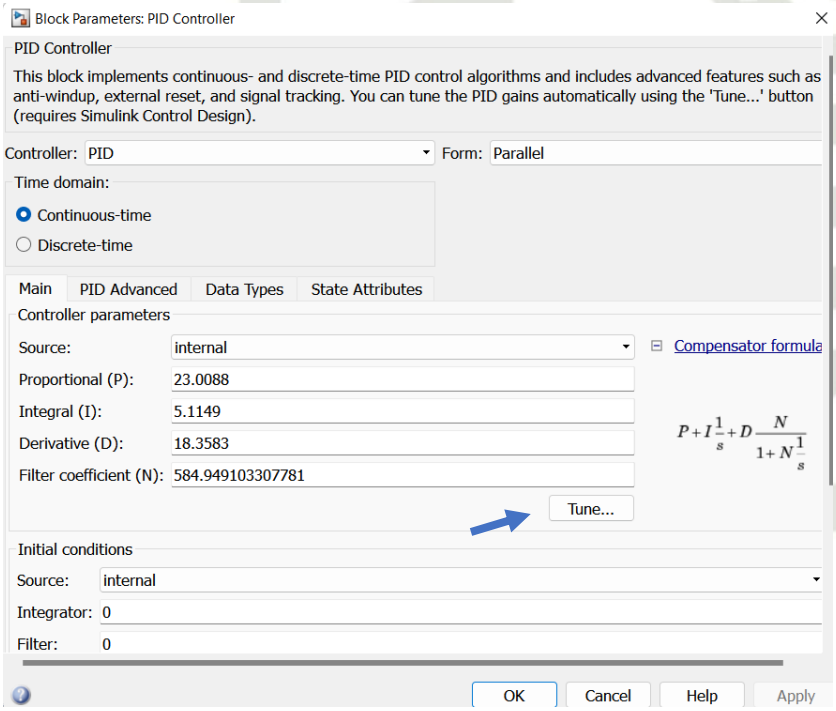
Dalam merancang tuning PID, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan nilai *input dan output* yang akan digunakan pada kendali *fuzzy* kemudian dilanjutkan dengan membuat rangkaian *Simulink* pada *software matlab* seperti pada gambar 3.5.

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




Gambar 3. 5 Rangkaian *Simulink* PID *Tunning*

Lalu *double click* pada PID *Controller*, dan akan muncul tampilan *Block Parameters PID Controller* seperti gambar berikut.



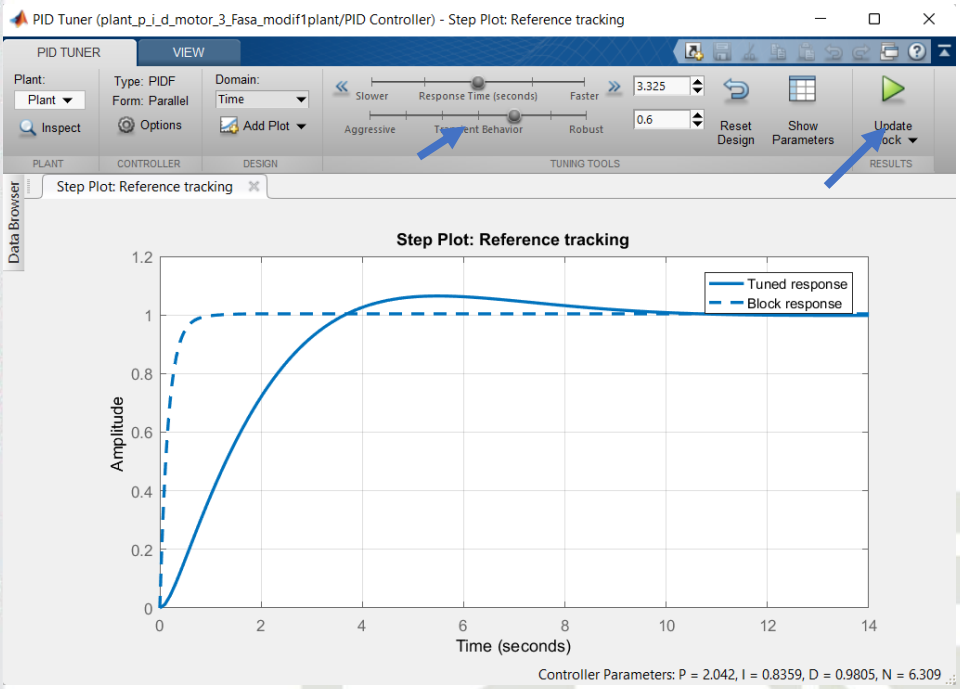

Gambar 3. 6 Tampilan blok PID *controller*

Setelah muncul halaman diatas, untuk melakukan *Tunning* tekan tombol *tune*, kemudian muncul blok PID *Tuner* dan geser tombol *Response time* dan *Transient behavior* untuk menhasilkan nilai P, I, dan D yang menghasilkan grafik sesuai dengan *setpoint* dan respon sistem yang baik seperti digambar 3.7.



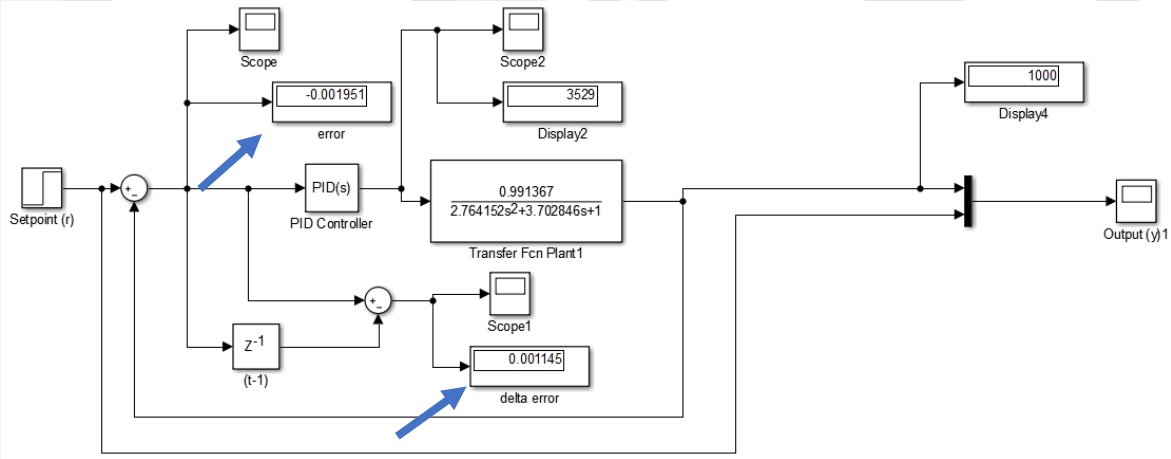
UIN SUSKA RIAU
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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.

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
Sultan Syarif Kasim Riau




Gambar 3. 7 Tampilan PID *Tuner*

Setelah mendapatkan nilai P, I, dan D yang tepat selanjutnya klik *update block and run* untuk menyimpan nilai P, I dan D yang nantinya akan digunakan di *fuzzy*. Matlab akan menghitung nilai *error* (e) dan *delta error* (de) secara otomatis seperti pada gambar 3.8 yang nantinya kan digunakan sebagai *input* di *fuzzy*.



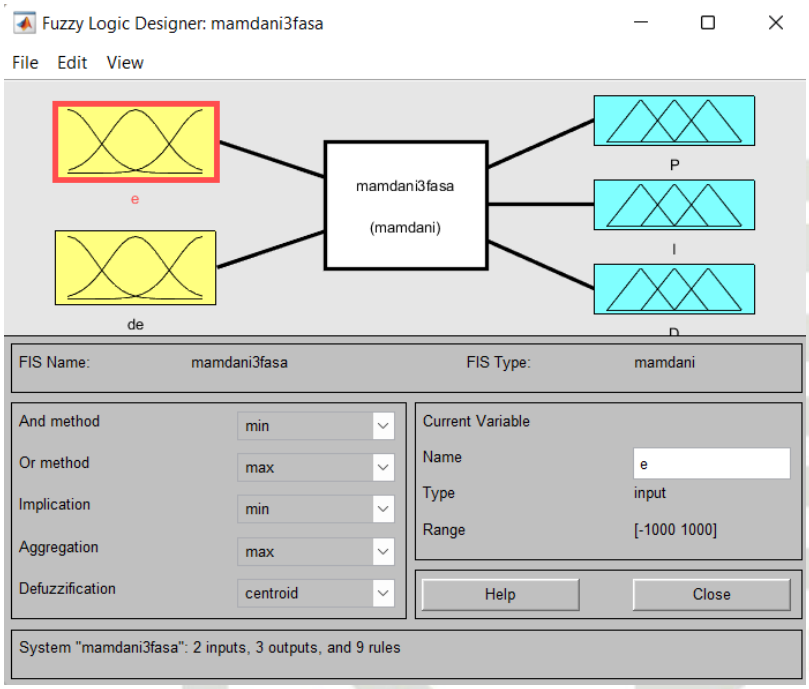

Gambar 3. 8 Nilai e dan de pada *Simulink PID Tunning*

### 3.6.2 Perancangan Pengendali *Tuning PID* Menggunakan *Fuzzy*

Dalam merancang kendali ini metode *fuzzy* yang digunakan adalah *fuzzy* mamdani. Logika *fuzzy* digunakan sebagai *tuning* kontroler PID. Logika *fuzzy* digunakan sebagai *tuning* parameter kontroler PID dengan *error (e)* dan *delta error (Δe)* sebagai masukan

*input*), dan parameter Kp, Ki, dan Kd sebagai *output*. Logika *fuzzy* mampu menyelesaikan sistem non linear seperti motor induksi tiga fasa, mampu beradaptasi pada perubahan lingkungan dan parameter.

Setelah mendapatkan nilai *error*, *delta error*, konstanta P, I, dan D, nilai ini akan digunakan di *fuzzy logic designer*. Berikut tampilan *fuzzy* dengan 2 *input* (*error* dan *delta error*) dan 3 *output* (Kp, Ki, dan Kd).




Gambar 3. 9 Tampilan *Fuzzy Logic Designer*

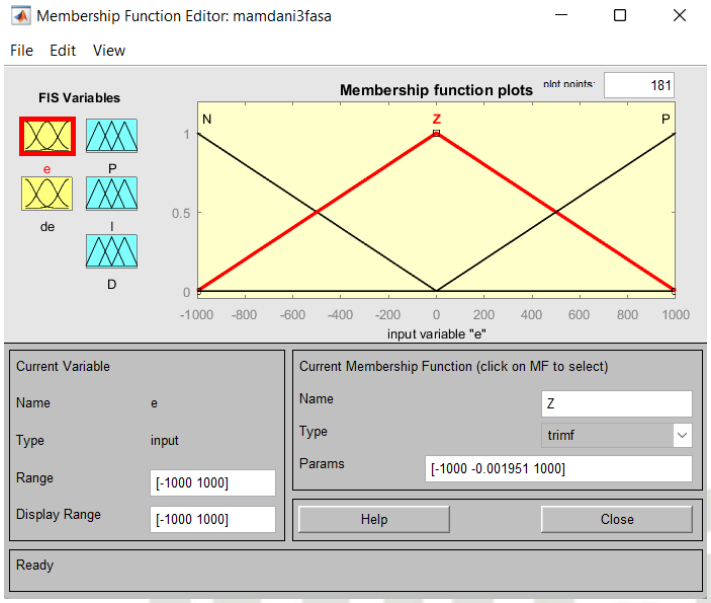
Perancangan pengendali *fuzzy* terdiri dari 3 tahap yaitu fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi sebagai berikut :

1. Fuzzifikasi

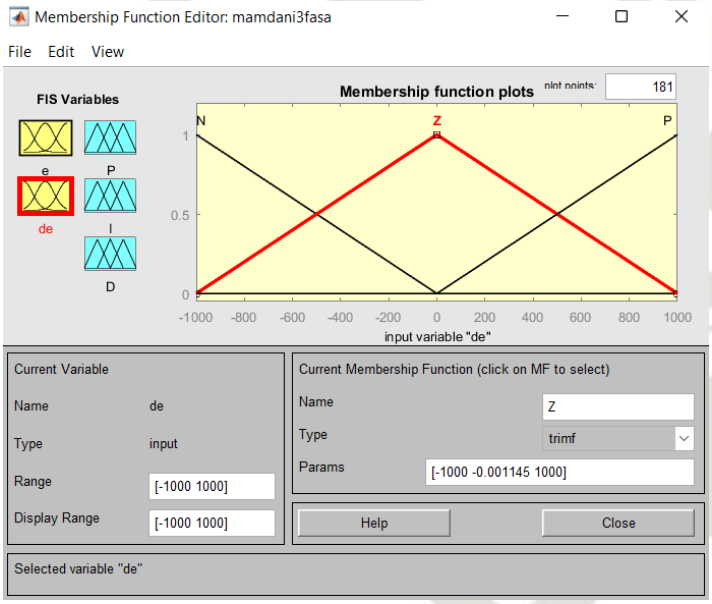
Pada perancangan fuzzifikasi ini, untuk nilai input fungsi keanggotaan untuk *error* dan *delta error* didapatkan dari rangkaian penentuan E dan Delta E dan menggunakan 3 fungsi keanggotaan yaitu N (*Negative*), Z (*Zero*), dan P (*Positive*) seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah. Untuk rentang parameter himpunan *fuzzy* dari *error* dimulai dari [-2000 -1000 0] untuk nilai N, [-1000 -0,001951 1000] untuk nilai Z, dan [0 1000 2000] untuk nilai P. Untuk nilai *delta error* dimulai dari [-2000 -1000 0] untuk nilai N, [-1000 -0.001145 1000] untuk nilai Z, dan [0 1000 2000] untuk nilai P. seperti gambar 3.10 dan 3.11berikut ini.



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




Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan *input error*

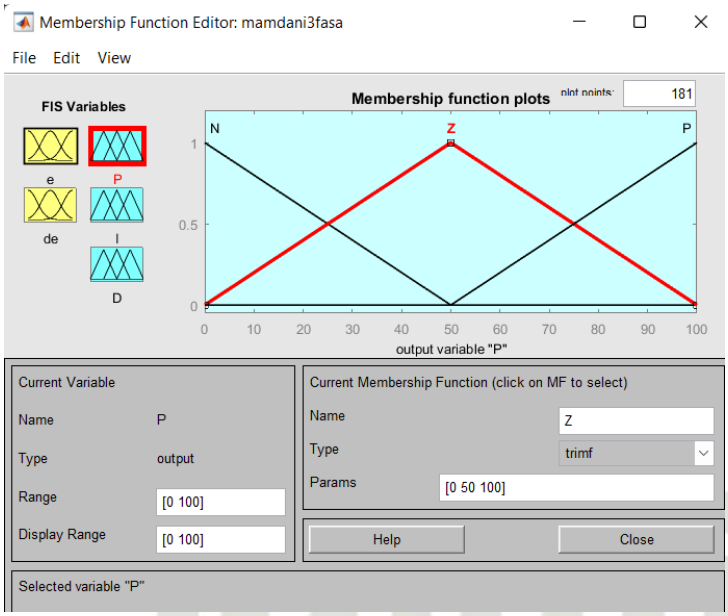



Gambar 3. 11 Fungsi keanggotaan *input delta error*

Selanjutnya nilai *range output* 1, 2 dan 3 diambil dar nilai Kp, Ki dan Kd yang didapat dari hasil *heuristic*. Untuk nilai *output* 1 yaitu Kp juga menggunakan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* N, Z, dan P dengan nilai N yaitu [-50 0 50], nilai Z yaitu [0 50 100], dan nilai P yaitu [50 100 150] seperti pada gambar 3.12 berikut ini.

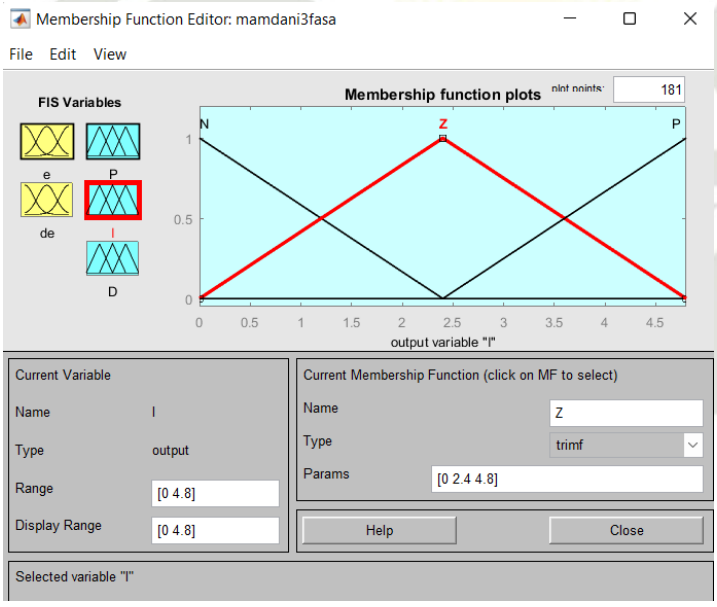


UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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. 12 Fungsi Keanggotaan *Output 1* Kp

Untuk fungi keanggotaan *output* 2 Ki dengan nilai N [-2.4 0 2.4], nilai Z [0 2.4 4.8], dan nilai P yaitu [2.4 4.8 7.2] seperti pada gambar 3.13 berikut ini.

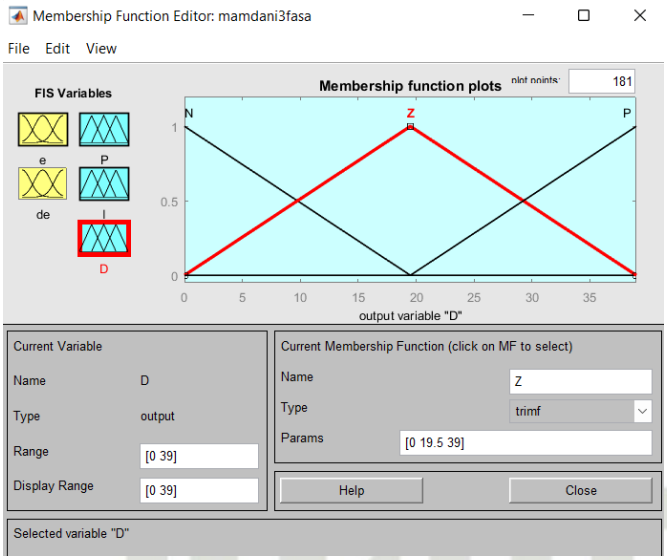



Gambar 3. 13 Fungsi keanggotaan *output 2* Ki

Selanjutnya untuk fungsi keanggotaan *output 3* Kd dimasukkan nilai N yaitu [-19.5 0 19.5], nilai Z yaitu [0 19.5 39], dan nilai P yaitu [19.5 39 58.5] seperti pada gambar 3.14 berikut ini.



UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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. 14 Fungsi Keanggotaan *output 3* Kd

2. *Rule Base Fuzzy*

Ada dua pendekatan yang digunakan dalam pembuatan *rule base*, terdiri dari pendekatan deterministic dan pendekatan *heuristic*. pendekatan *heuristic* dipilih pada penelitian ini, karena pendekatan pengaplikasiannya yang mudah. Pada pendekatan *heuristic*, *rule base* dirancang dalam bentuk pengetahuan kualitatif dari respon *plant* secara *open loop*. Dalam perancangan ini bertujuan untuk menghasilkan respon *plant* dengan nilai *error steady state* yang kecil maka aturan-aturan Tabel 2.3 dapat dijadikan sebagai acuan dalam membuat *rule base*. Adapun *rule base* yang dibuat adalah sebagai berikut:

1. *If (error is N) and (delta err is N) then (Kp is N) (Ki is N) and (Kd is N)*
2. *If (Error is N) and (D error is Z) then (Kp is N) (Ki is N) and (Kd is N)*
3. *If (Error is N) and (D error is P) then (Kp is Z) (Ki is Z) and (Kd is Z)*
4. *If (Error is Z) and (D error is N) then (Kp is N) (Ki is N) and (Kd is N)*
5. *If (Error is Z) and (D error is Z) then (Kp is Z)(Ki is Z) and (Kd is Z)*
6. *If (Error is Z) and (D error is P) then (Kp is P) (Ki is P) and (Kd is P)*
7. *If (Error is P) and (D error is N) then (Kp is Z) (Ki is Z) and (Kd is Z)*
8. *If (Error is P) and (D error is Z) then (Kp is P) (Ki is P) and (Kd is P)*
9. *If (Error is P) and (D error is P) then (Kp is P)(Ki is P) and (Kd is P)*

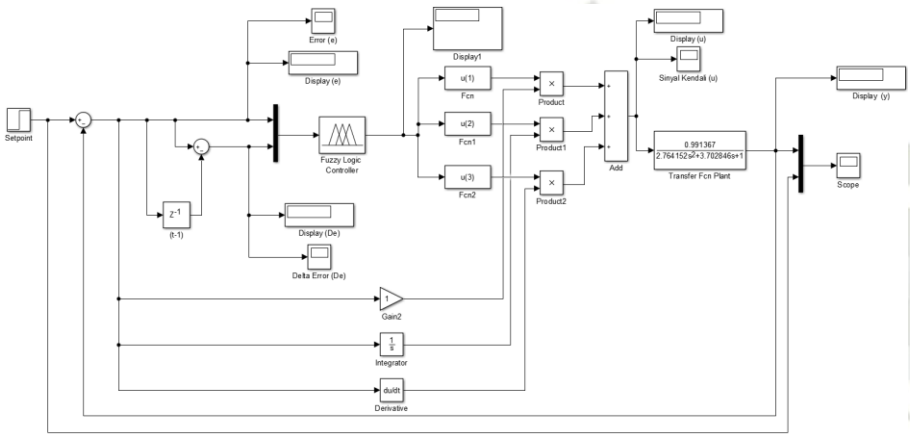


UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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

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

3. *Defuzzifikasi*

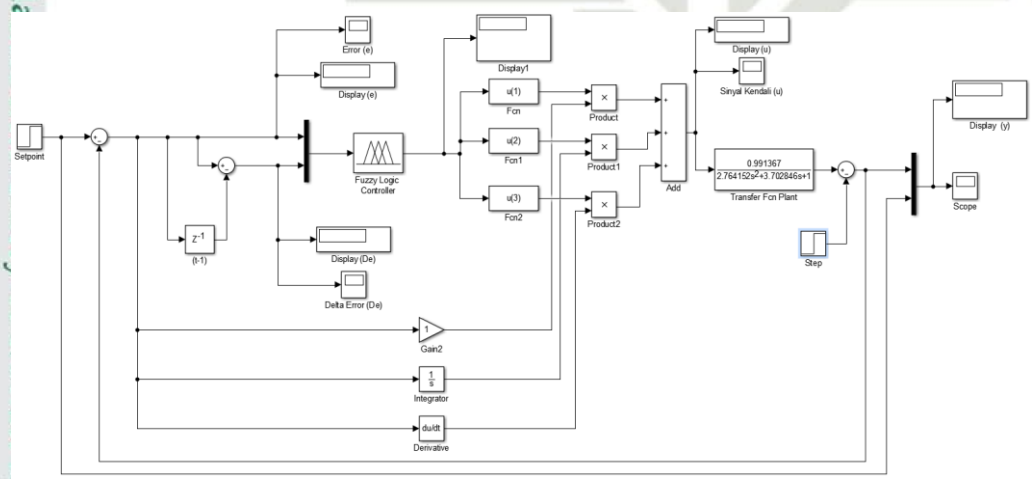
Setelah membuat rangkaian sistem kendali *fuzzy*, selanjutnya sistem disimulasikan dan dianalisa. Gambar 3.15 di bawah merupakan rancangan pengendali *tuning* menggunakan *Fuzzy* pada sistem motor induksi tiga fasa dengan nilai Kp, Ki dan Kd didapatkan menggunakan metode PID *Tunning* yang disesuaikan dengan hasil respon *plant*.




Gambar 3. 15 Rangkaian *Simulink* Pengendali *PID-Fuzzy*

### 3.6.3 Perancangan Pengendali *Tuning PID* Menggunakan Logika *Fuzzy* dengan Gangguan Sinyal Kendali

Dalam merancang pengendali ini diberikan gangguan sinyal kendali pada *plant* dengan tujuan menguji ketahanan kendali dengan melihat kondisi *steady state* pada grafik hasil. Pada pengujian ini diberikan gangguan sebesar 6% dan 8% dari *setpoint* pada waktu 15 detik.




Gambar 3. 16 Rangkaian *Simulink* Pengendali PID-*Fuzzy* dengan Gangguan Sinyal Kendali

## 3.7 Hasil Data Penelitian yang Akan Dianalisa

Berikut data-data yang perlu dianalisa berupa grafik hasil respon keluaran untuk mengetahui kinerja *plant* pada beberapa pengujian, yaitu :

1. Waktu tunak atau *settling time* (ts), adalah ukuran waktu respon sistem untuk memasuki daerah stabil, biasanya antara 2%-5%.
2. Waktu naik atau *rise time* (tr), adalah pengukuran waktu yang menunjukkan bahwa respon sistem meningkat dari 5% menjadi 95% atau 10% menjadi 90% dari nilai respon keadaan tunak (*steady state*).
3. Waktu tunda atau *delay time* (td), adalah waktu dari t=0 sampai respon mencapai 50% dari nilainya keadaan tunaknya. Waktu tunda menggambarkan besarnya faktor tunda respon yang disebabkan oleh proses sampling.
4. *Overshoot*, adalah nilai puncak maksimum dari kurva respon yang dilihat dari sistem. Nilai maksimum *overshoot* 100%. Jika nilai respon kondisi tunak akhir berbeda dari nilai yang diharapkan, sistem mengalami *overshoot*.
5. Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*), sistem orde pertama diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state*.



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

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

# BAB V

# PENUTUP

## 5.1 Kesimpulan

Motor induksi 3 fasa merupakan salah satu motor listrik yang paling banyak digunakan sebagai alat penggerak di bidang industri, namun kelemahan motor induksi 3 fasa berupa sulitnya mengendalikan kecepatan motor 3 fasa dan respon *open loop* yang belum mampu mencapai *setpoint* dapat mempengaruhi kualitas produk yang di produksi. Maka dari itu peneliti melakukan penelitian dengan merancang pengendali yang mampu mengatasi permasalahan pada motor induksi 3 fasa. Peneliti memutuskan menggunakan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada motor induksi 3 fasa.

Setelah dilakukan perancangan pengendali dan pengujian, didapatkan respon keluaran saat diberikan pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* dengan nilai berupa Kp = 50, Ki = 2.4 dan Kd = 19.5 berupa ts = 1.282 detik, tr = 0.97, td = 0.344 detik, overshoot = 0 rpm dan ess = 0.000087 rpm. Maka dapat disimpulkan bahwa pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* mampu meminimalisir ess yang semula sebesar 8.633 rpm saat dalam keadaan *open loop* menjadi 0.000087 rpm saat diberikan pengendali. Pengujian dengan memberikan gangguan sinyal kendali juga dilakukan dengan tujuan menguji ketahanan pengendali dalam mempertahankan keadaan stabil dengan memberikan gangguan sinyal kendali sebesar 6% dan 8%, terbukti bahwa pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* dapat mengatasi gangguan yang diberikan dan mampu mempertahankan keadaan *steady state* nya. Dari hasil penelitian didapatkan juga bahwa pada penelitian ini motor induksi 3 fasa mengalami *critically damped* yang berarti motor induksi 3 fasa dapat mencapai *steady state* dengan respon waktu yang minimal tanpa adanya *overshoot*[23].

## 5.2 Saran

Pada penelitian ini, penulis melakukan penelitian dengan menggunakan metode *heuristic* atau *trial-error* sebagai metode penalaan pada pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic*, kemudian dilakukan beberapa pengujian dari *open loop* hingga diberikan gangguan sinyal kendali. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode *ziegler Nichols* dan melakukan pengujian dengan melakukan perubahan *setpoint*.

Diharapkan dengan menggunakan metode tersebut dapat menghasilkan respon keluaran yang lebih baik

UIN SUSKA RIAU

©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

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

UIN SUSKA RIAU

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

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

# DAFTAR PUSTAKA

[1] M. R. Utoro, J. Pramudijanto, J. Arief, dan R. Hakim, "Perancangan dan Implementasi Kontroler Sliding Mode Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa," *J. Tek. POMITS*, vol. 3, no. 1, 2014.

[2] N. Evalina dan A. A. Zulfikar, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.

[3] A. Husnawan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Logika Fuzzy," *skripsi*, 2008.

[4] M. Faisal, A. Alhamdi, dan J. Pramudijanto, "Perancangan dan Implementasi Kontroler Knowledge Based -PI pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," *J. Tek. POMITS*, vol. 3, no. 1, pp. 140–145, 2014.

[5] R. I. Putri, "Penerapan Adaptif Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa," *J. Tek. Gelagar*, vol. 18, no. 1, pp. 57–64, 2007.

[6] A. Kurniawan, "ANALISIS PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL," *J. Tek. ELEKTRO Univ. NEGERI SURABAYA*, pp. 733–740, 2020.

[7] E. Wahjono, "PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK DENGAN KONTROLER FUZZY LOGIC," *J. Ilm. Mikrotek*, vol. 1, no. 3, pp. 136–144, 2015.

[8] A. Faizal, "Analisis Performansi Pengendali pada Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Metode Harriot Dengan Pengendali Hybrid SMC dan PID," *SNTIKI*, pp. 352–359, 2017.

[9] I. P. Sutawinaya, "PENGEMBANGAN MODEL FUZZY MAMDANI UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA BERBASIS KONTROL FIELD ORIENTED," *J. Log.*, vol. 13, no. 2, pp. 74–79, 2013.

[10] R. Kristiyono dan W. Wiyono, "Autotuning Fuzzy PID Controller for Speed Control of BLDC Motor," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 5, pp. 400–407, 2021, doi: 10.18196/jrc.25114.

[11] A. Pardomuan, A. Triwiyatno, dan B. Setiyono, “Perancangan Kontroler Self Tuning Fuzzy Pi Untuk Pengendalian Ketinggian Air Dan Temperatur Uap Pada Steam Drum Boiler,” *Transient*, vol. 6, no. 1, pp. 45–52, 2017.

[12] K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik(Sistem Pengaturan)*, 1st ed. Jakarta: Erlangga, 1995.

[13] A. Setiawan, B. Yanto, dan K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi Dengan Fuzzy Tsukamoto*. Bali: Jayapangus Press, 2018.

[14] R. Ardiansyah, I. M. A. Nrartha, dan I. M. B. Sukmadana, “Perancangan Soft Starting Pada Motor Induksi Tiga Phase Menggunakan Mikrokontroller Atmega328,” *Dielektrika*, vol. 2, no. 2, pp. 91–96, 2015, [Online]. Available: http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/61.

[15] I. N. Bagia and I. M. Parsa, *MOTOR-MOTOR LISTRIK*, 1st ed. CV. Rasi terbit, 2018.

[16] P. Jakoubek, “Experimental Identification of Stabile Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Methods,” *Student Conderence STC 2009*

[17] R. Goyena, *Teknik Listrik Industri Jilid 2*, vol. 53, no. 9. 2019.

[18] K. Ogata, *Modern control engineering*, 4th ed. Ney Jersey: Prentice Hall, 2002.

[19] K. Ogata, *MODERN CONTROL ENGINEERING*, 5th ed., vol. 39, no. 12. New Jersey: Prentice Hall, 2010.

[20] D. ana ratna Wati, *Sistem Kendali Cerdas*, 1st ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2011.

[21] S. Kusumadewi dan H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.

[22] B. Cahyono, “Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier,” *Phenom. J. Pendidik. MIPA*, vol. 3, no. 1, pp. 45–62, 2016, doi: 10.21580/phen.2013.3.1.174.

[23] G. B. Sutra, A. Suhendi, dan R. F. Iskandar, “Implementasi Filter Kalman untuk Mereduksi Derau Pada Respon Dinanik Rangkaian RLC,” vol. 6, no. 2, pp. 5123–5129, 2019.

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.

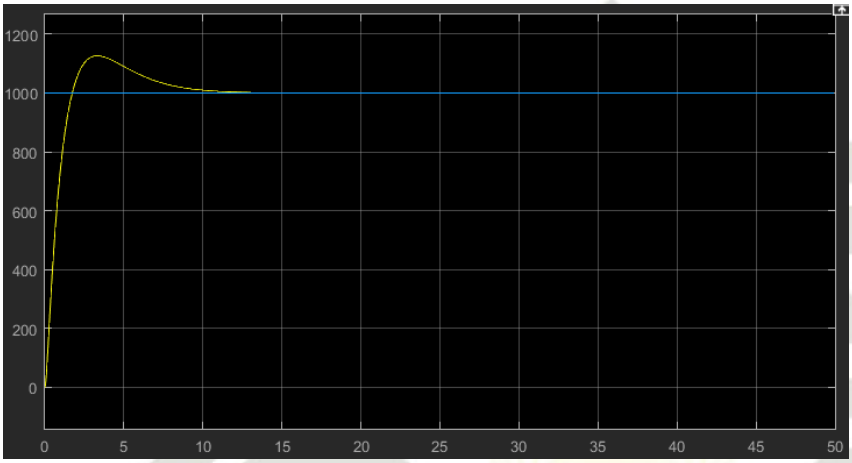
©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

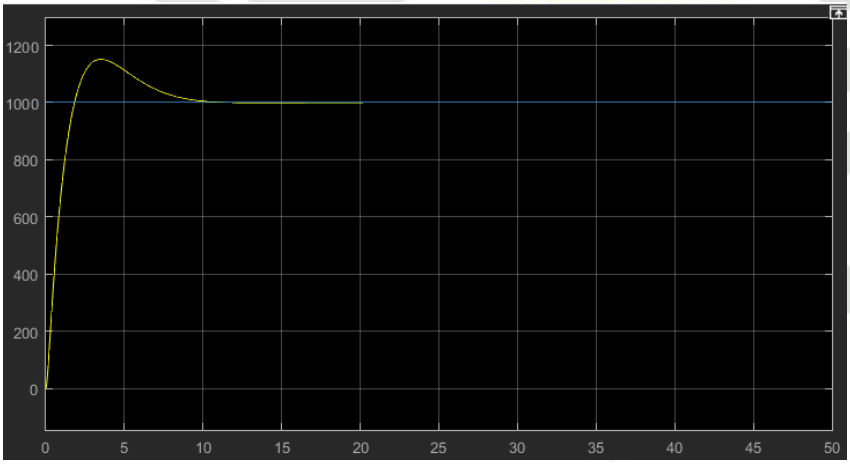
# LAMPIRAN

**Proses Penalaan Parameter PID pada Pengendali *Tuning PID* menggunakan *Fuzzy Logic* dengan Metode *Heuristic***

1. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 21.58, Ki = 6.85, dan Kd = 16.8

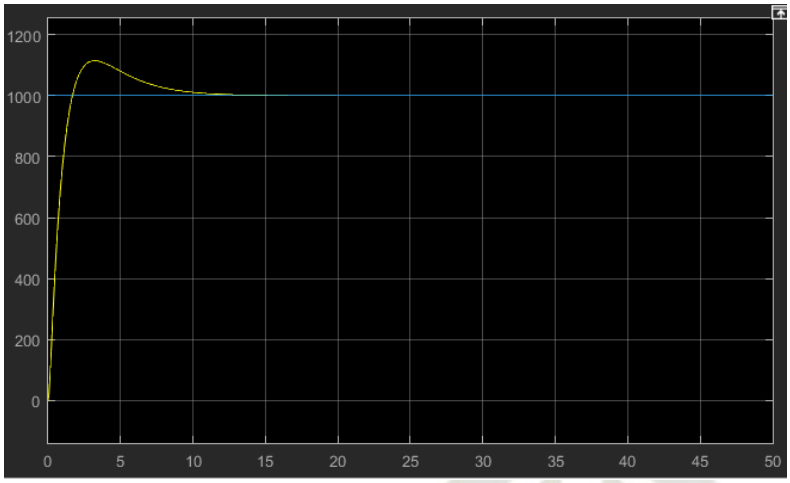



2. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 19, Ki = 6.85, dan Kd = 16.8

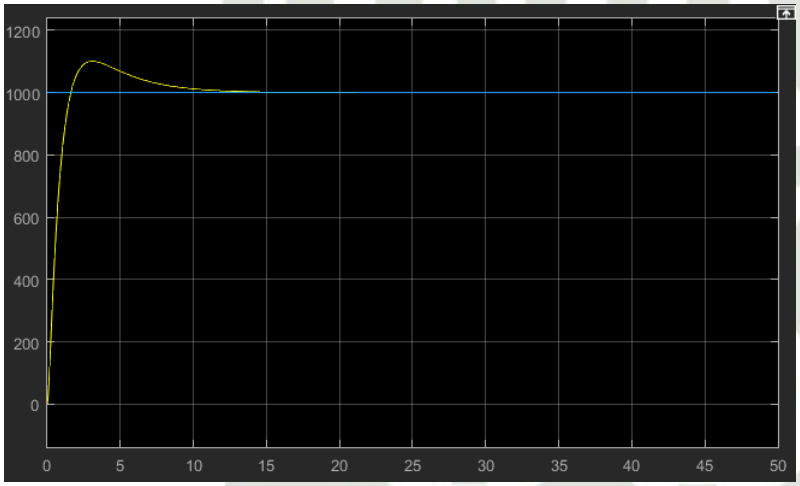



3. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 6.85 dan Kd = 16.8

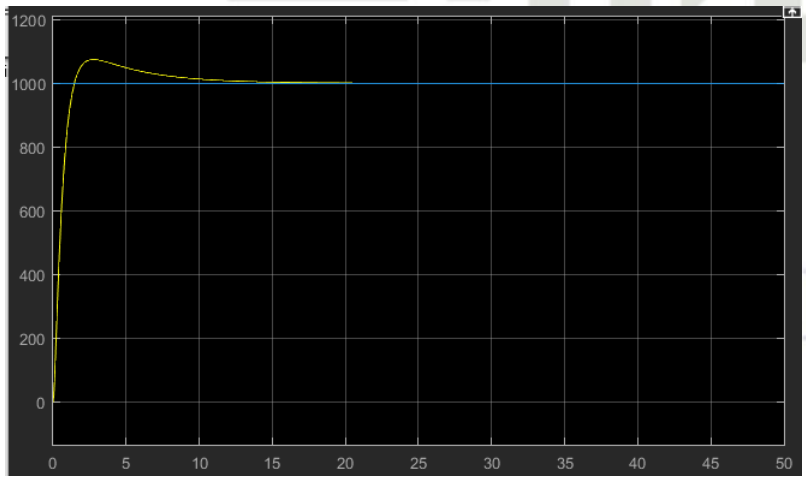
UIN SUSKA RIAU
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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




4. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 25, Ki = 6.85 dan Kd = 16.8

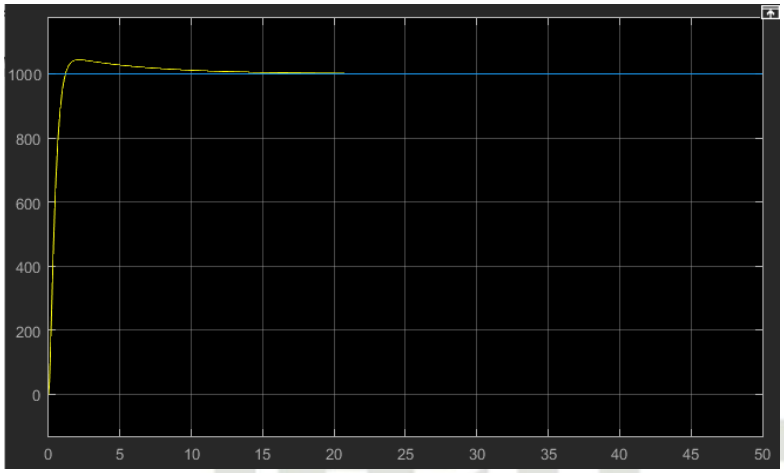



5. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 30, Ki = 6.85 dan Kd = 16.8

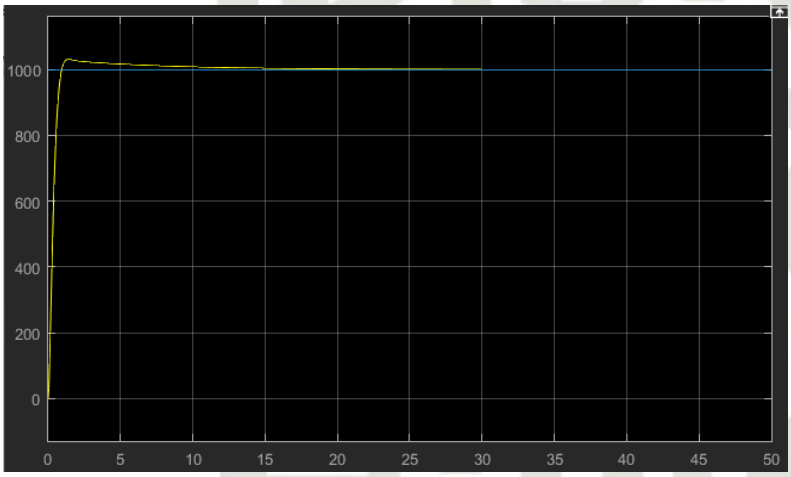



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian,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

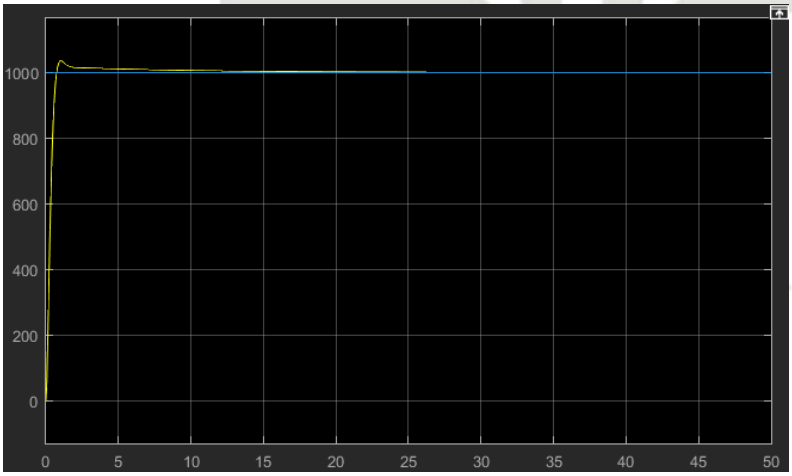
6. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 40, Ki = 6.85 dan Kd = 16.8




7. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 50, Ki = 6.85 dan Kd = 16.8

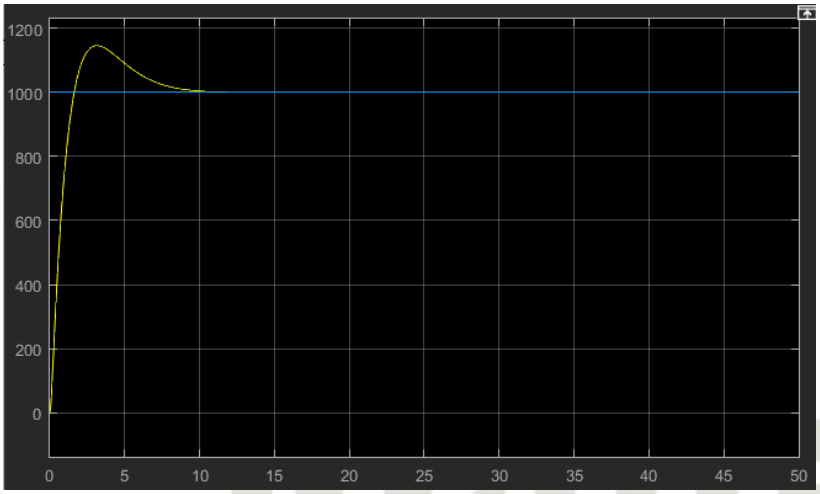



8. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 60, Ki = 6.85 dan Kd = 16.8

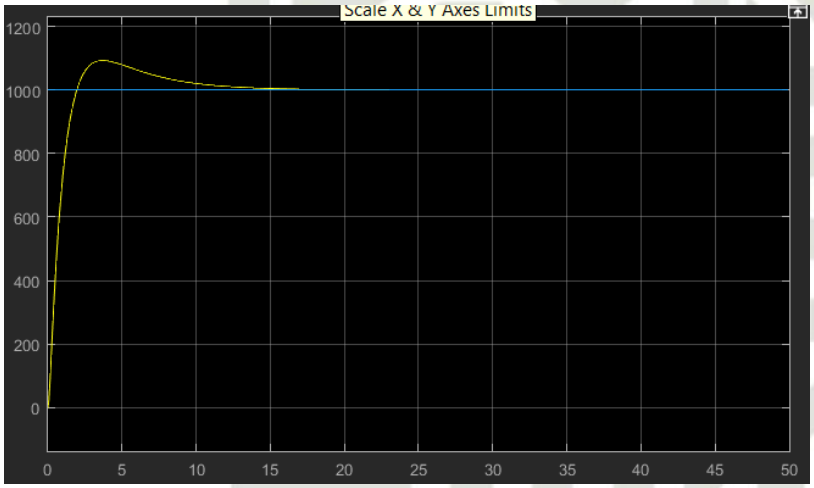



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya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

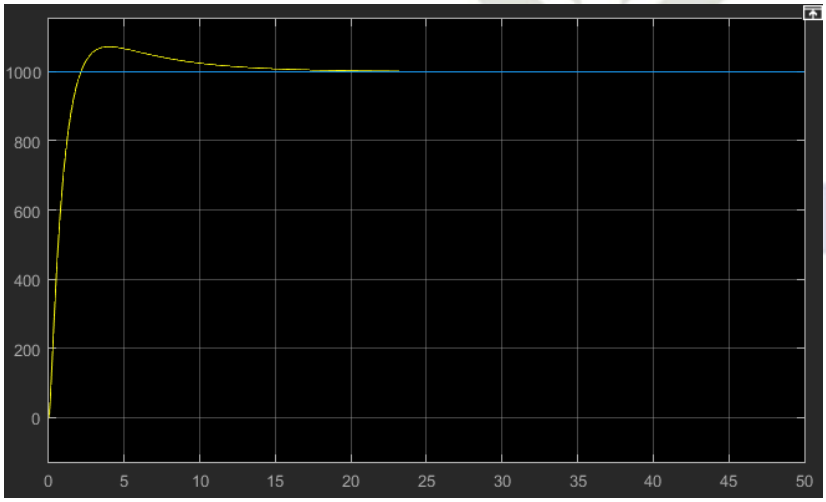
Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 8 dan Kd = 16.8




10. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 5 dan Kd = 16.8

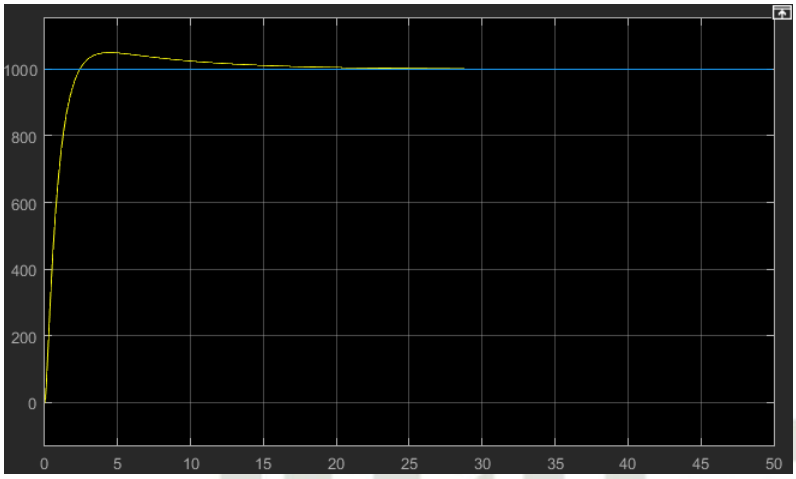



11. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 4 dan Kd = 16.8

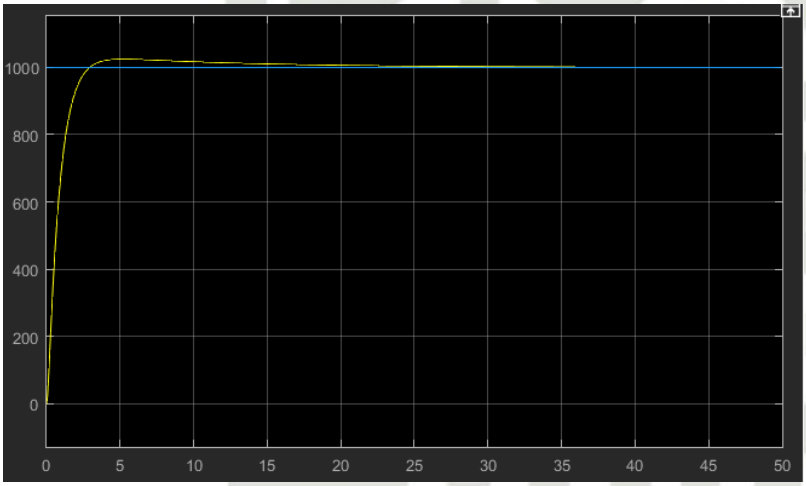



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya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

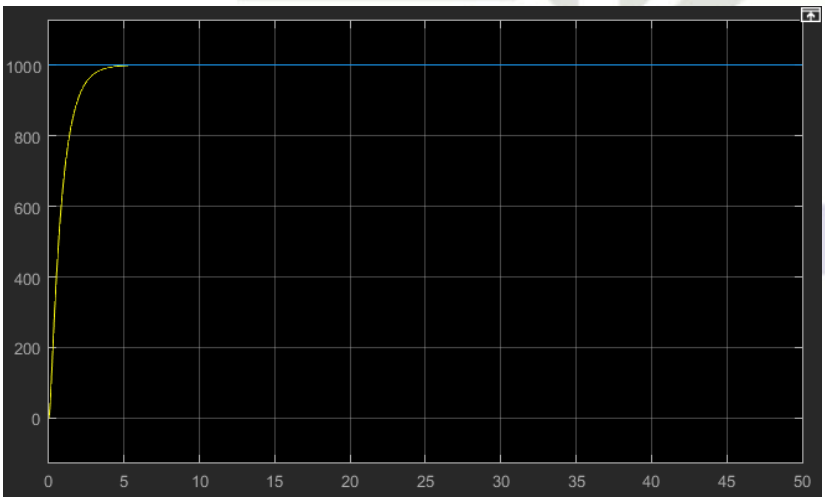
12. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 3 dan Kd = 16.8




13. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 2 dan Kd = 16.8

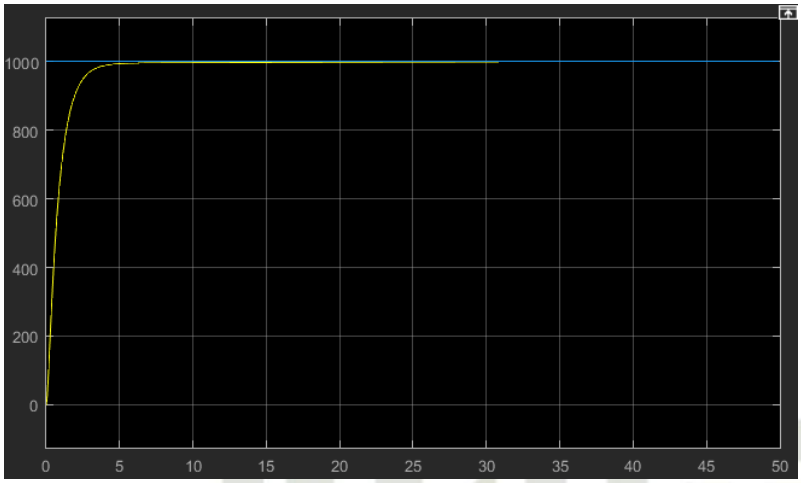



14. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 1.15 dan Kd = 16.8

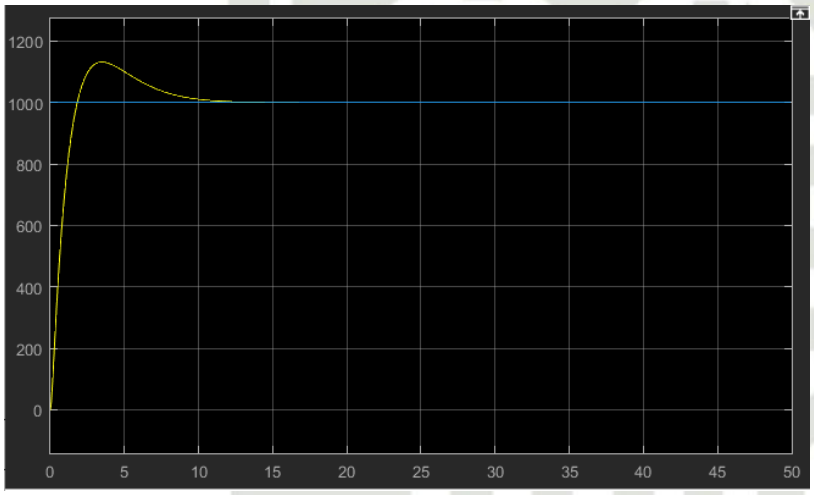



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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

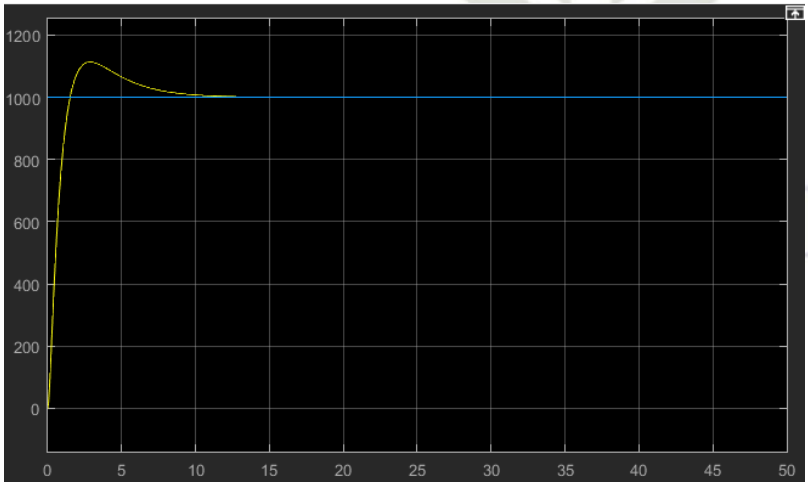
15. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 1 dan Kd = 16.8




16. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 6,85 dan Kd = 18

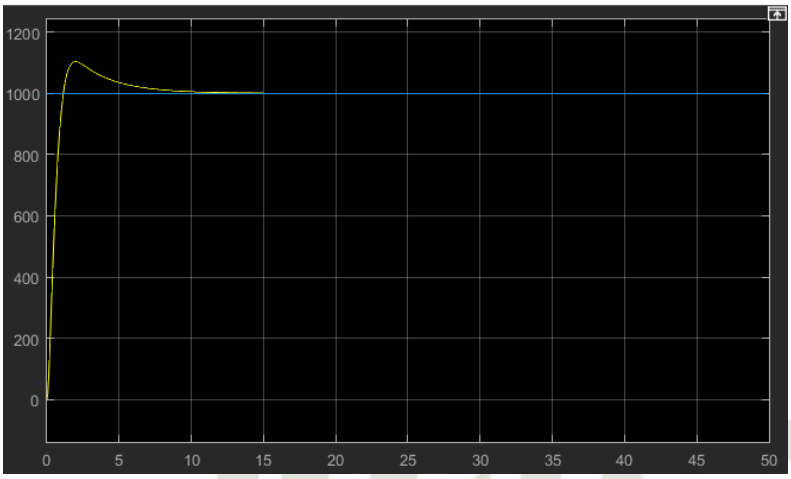



17. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 6,85 dan Kd = 14

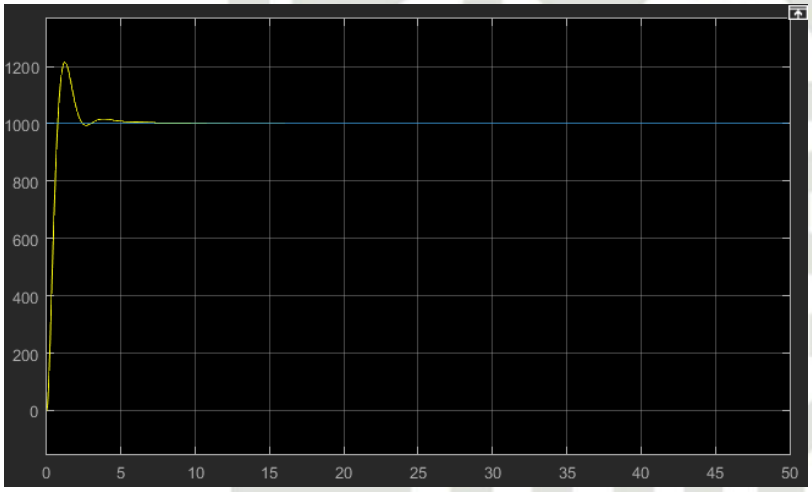



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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

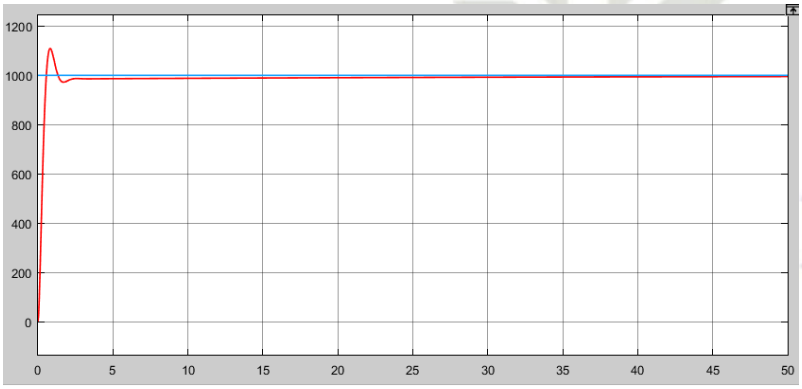
18. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 6,85 dan Kd = 10




19. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 23, Ki = 6,85 dan Kd = 5

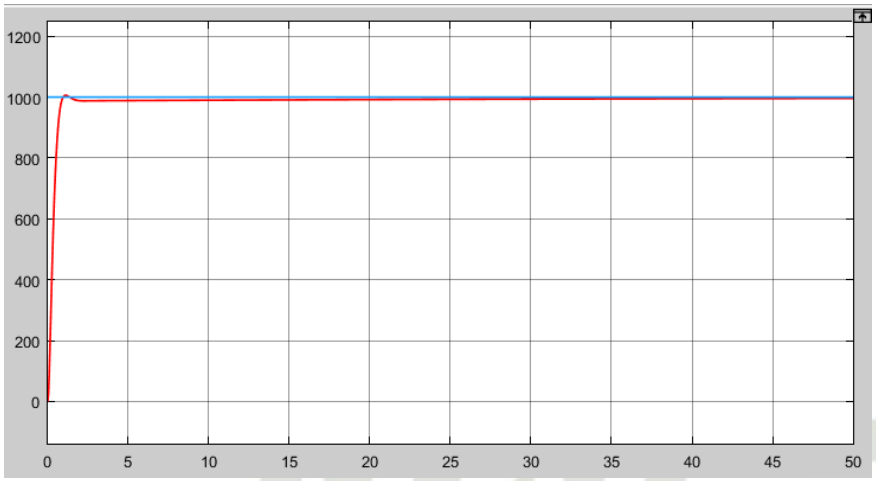



20. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 50, Ki = 1.15, Kd = 10

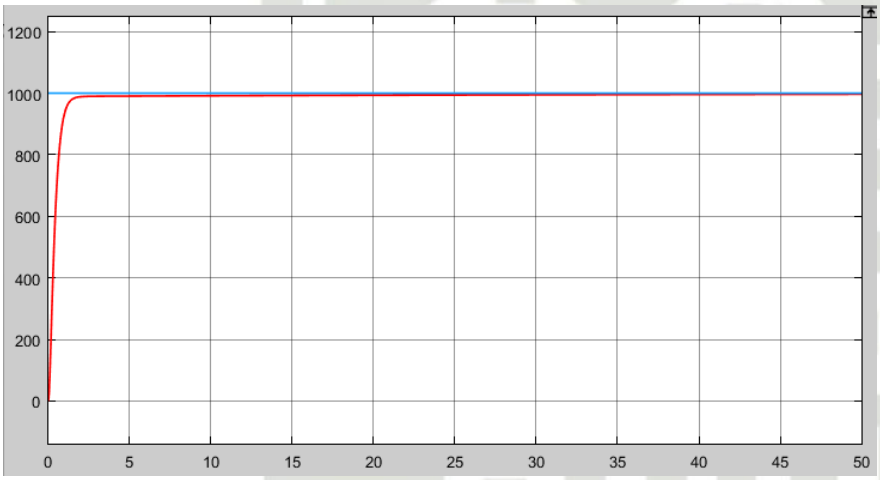



© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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

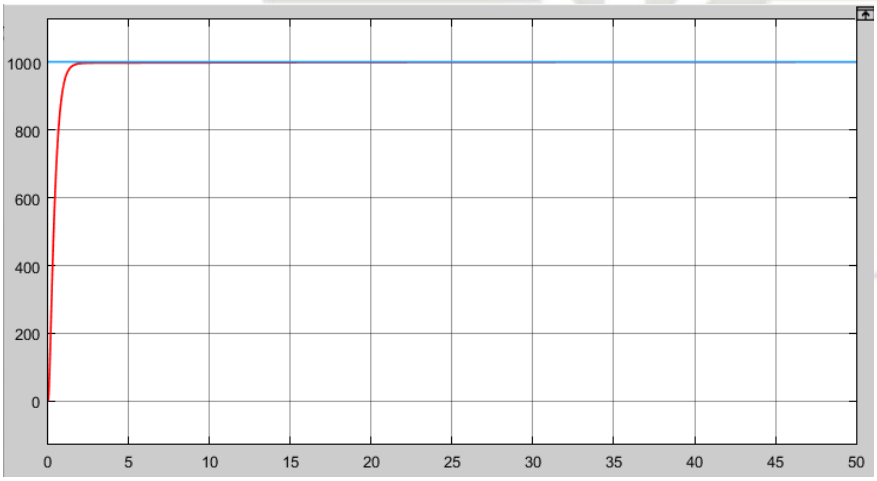
21. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 50, Ki = 1.15, Kd = 15




22. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 50, Ki = 1.15, Kd = 19.5

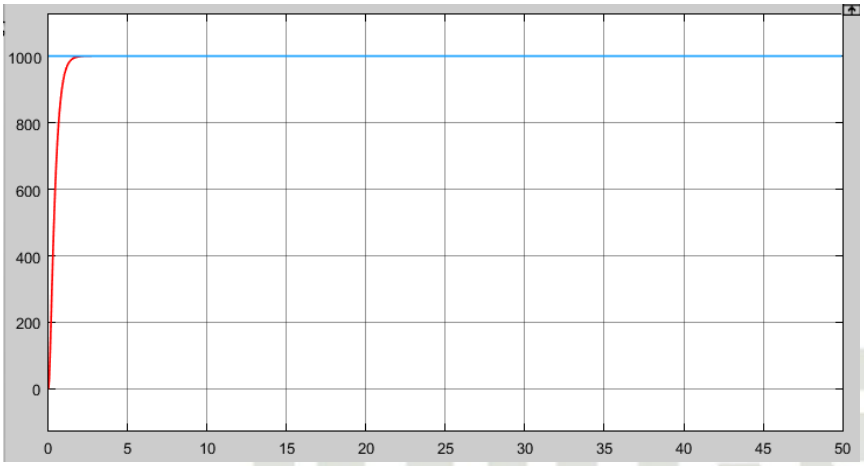



23. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 50, Ki = 2, Kd = 19.5




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

24. Hasil simulasi dengan nilai Kp = 50, Ki = 2.4, Kd = 19.5




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

# DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Muhammad Afif Luthfie Adrian lahir pada tanggal 20 Juni 2001 sebagai anak pertama dari Pak Adriansyah dan Ibu Eli Suarni dengan jumlah saudara sebanyak 3 saudara. Beralamat Jl. Pari, Duri, Riau. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD IT Al- Kautsar dan lulus pada tahun 2012, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP IT Al- Kautsar dan lulus pada tahun 2015, selanjutnya melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Mandau. Kemudian setelah lulus SMA pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dengan jurusan Teknik Elektro. Pada semester 4 penulis mengambil konsentrasi Elektronika Instrumentasi.

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

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul "**Desain Kendali *Tuning* PID Menggunakan *Fuzzy Logic* Untuk Pengendalian Kecepatan pada Motor Induksi 3 Fasa".**

No. HP : 082391958236

Email : 11850512408@students.uin-suska.ac.id

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik 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.