

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI HYBRID PID DAN FUZZY  
LOGIC PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC  
MENGUNAKAN METODE QUATER DECAY**

**TUGAS AKHIR**

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



**UIN SUSKA RIAU**

Oleh :

**EDDY DARMAWAN**

**11655103399**

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

**2020**

# LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN SISTEM KENDALI HYBRID PID DAN FUZZY LOGIC PADA  
PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN  
METODE QUARTER DECAY

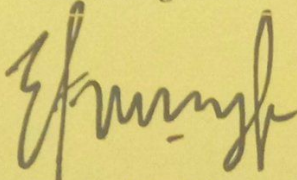
## TUGAS AKHIR

Oleh :

**EDDY DARMAWAN**  
11655103399

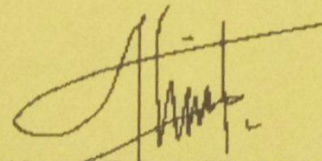
Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 16 Juni 2019

**Ketua Program Studi**



**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**  
NIP. 19750922 200912 2 002

**Pembimbing**



**Ahmad Faizal, ST., MT.**  
NIP. 19880630 201503 1 006



# LEMBAR PENGESAHAN

## PERANCANGAN SISYEM KENDALI HYBRID PID DAN FUZZY LOGIC PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN METODEQUARTER DECAY

### TUGAS AKHIR

Oleh :

**EDDY DARMAWAN**


**11655103399**

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 16 Juni 2020

Pekanbaru, 16 Juni 2020

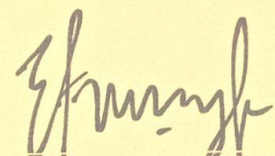
Mengesahkan,

Dekan



**Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag.**  
NIP. 19660604 199203 1 004

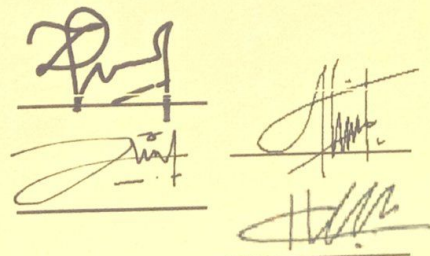
Ketua Program Studi



**Ewi Isharedah, S.Kom. M.Kom.**  
NIP. 19750922 200912 2 002

### DEWAN PENGUJI :

Ketua : Dr. Zulfatri Aini ST., MT.  
Sekretaris : Ahmad Faizal, ST., MT.  
Anggota I : Aulia Ullah, ST., M.Eng.  
Anggota II : Halim Mudia, ST., MT.



## **LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL**

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

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

## **LEMBAR PERNYATAAN**

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

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

Pekanbaru, 19 Desember 2019

Yang membuat pernyataan,

Eddy Darmawan  
NIM. 11655103399

## LEMBAR PERSEMBAHAN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Let the fun begin!*

# PERANCANGAN SISTEM KENDALI HYBRID PID DAN FUZZY LOGIC PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGUNAKAN METODE QUATER DECAY

**EDDY DARMAWAN**

**NIM:11655103399**

Tanggal Sidang : 16 Juni 2020

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

JL. Soebrantas NO.155 Pekanbaru

## ABSTRAK

Motor DC adalah jenis Motor yang paling awal digunakan karena memiliki karakteristik pengendalian yang bagus, motor DC lebih banyak digunakan dari pada motor induksi, alasannya motor DC lebih mudah dikendalikan dan relatif murah. Alasan motor DC harus dikendalikan yaitu kecepatan motor DC mengalami penurunan kinerja yang disebabkan oleh beban. Pengendali PID adalah adalah satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengendalian proses industri sampai saat ini. Berdasarkan survey, dapat dipersentasikan sebesar 97%. Ada beberapa metode yang digunakan untuk mendapatkan parameter PID salah satunya metode Quarter Decay, Metode Quarter Decay adalah bentuk penyempurnaan dari metode Ziegler Nichlos karena tidak semua sistem dapat mentolerir osilasi. Penggunaan pengendali pada industri masih dinilai kurang karena peka akan overshoot dan undershoot sehingga diperlukan penggabungan dengan pengendali lain. Fuzzy Logic banyak diterapkan dalam bidang kendali otomasi dan industri, karena tidak melibatkan model matematis yang rumit. Hasil Penelitian Metode Quarter Decay pada PID menghasilkan sistem stabil dengan *rise time* yang cepat akan tetapi metode ini menghasilkan *overshoot* yang tinggi sebesar 14.83% dan  $ess=0.17$ , pengujian pengendali Fuzzy sistem tidak mampu mencapai nilai *setpoint* yang diberikan walaupun tidak terdapat *overshoot*, disaat kendali PID Quarter Decay digabungkan Fuzzy Logic *overshoot* berkurang menjadi 0.17 dan  $ess$  menjadi 0 walaupun waktu naik sedikit melambat. Pengujian kekokohan dari 3 pengendali tersebut pengendali Hybrid adalah pengendali terbaik karena hanya menghasilkan lonjakan sebesar 24 rad/s.

Kata kunci :Motor DC, pengendali PID, Pengendali Fuzzy Logic

***DESIGN OF HYBRID PID CONTROL SISTEM AND FUZZY LOGIC IN  
CONTROLLING DC MOTOR SPEED USES QUARTER DECAY  
METHOD***

**EDDY DARMAWAN**

***STUDENT NUMBER: 11655103399***

*Date of Final Exam : June ,16 2020*

*Department of Electrical Engineering*

*Faculty of Science and Technology*

*Syarif Kasim State Islamic University of Riau*

*Soebrantas Street , Number. 155 Pekanbaru*

***ABSTRACT***

*DC motor is the earliest type of motor used because it has good control characteristics, DC motors are more widely used than induction motors, the reason DC motors are easier to control and relatively inexpensive. The reason a DC motor must be controlled is that the speed of the DC motor experiences a decrease in performance caused by the load. The PID controller is the single most widely adopted strategy in controlling industrial processes to date. Based on the survey, it can be represented by 97%. There are several methods used to get PID parameters, one of them is the Quarter Decay method, the Quarter Decay Method is a refinement of the Ziegler Nichlos method because not all systems can tolerate oscillations. The use of controllers in the industry is still considered insufficient because it is sensitive to overshoot and undershoot so that merging with other controllers is needed. Fuzzy Logic is widely applied in the fields of automation and industrial control, because it does not involve complicated mathematical models. Research Results The Quarter Decay method on PID produces a stable system with a fast rise time but this method produces a high overshoot of 14.83% and  $ess = 0.17$ , the Fuzzy controller test system is not able to reach the given setpoint value even though there is no overshoot, when the PID control Quarter Decay combined with Fuzzy Logic overshoot reduced to 0.17 and  $ess$  to 0 even though the ascending time slowed down a bit. Testing the robustness of these 3 Hybrid controllers is the best controller because it only produces a spike of 24.*

*Keywords : Motor DC, PID Controller, Fuzzy Logic Controller*



## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Syukur alhamdulillah penulis haturkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “SISTEM KENDALI HYBRID PID DAN FUZZY LOGIC PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN METODE QUARTER DECAY”. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi di Teknik Elektro UIN Suska Riau.

Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak akan terwujud tanpa dukungan, bantuan, peran serta perhatian banyak pihak. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih pada mereka yang telah banyak berperan, baik yang bersifat langsung dalam penelitian ini, maupun yang menjadi pendorong dan penyejuk hati penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Ayah yang telah meninggal 10 tahun yang lalu, Alm. Azmi Ali, tanpa beliau penulis bukanlah siapa-siapa, semoga Allah memberikan tempat yang lebih baik kepada beliau Amin.
2. Ibu, Ermida yang telah memberikan doa, semangat, dorongan, kritik dan saran baik disaat suka maupun duka.
3. Bapak Prof. Dr. H. Akhmad Mujahidin, S.ag, M.ag selaku Rektor UIN Suska Riau beserta staf dan jajarannya.
4. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.ag Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi beserta staf dan jajarannya.
5. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
6. Bapak Mulyono ST.,MT. selaku Sekretraris Program Studi Tenik Elektro.
7. Bapak Ahmad Faizal selaku pembimbing dalam penulisan laporan tugas akhir yang telah membimbing disaat awal memulai penulisan sampai akhir dengan ide-ide, saran dan kritik serta meluangkan waktu dan pemikirannya yang ikhlas, guna membantu dalam jalannya penulisan laporan tugas akhir ini.

8. Ibu Dr. Zulfatri Aini ST., MT. Selaku ketua sidang tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membantu baik pada kepribadian penulis sendiri maupun pada tugas akhir penulis.
9. Bapak Aulia Ullah ST., M.Eng. Selaku penguji tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membantu baik pada kepribadian penulis sendiri maupun pada tugas akhir penulis.
10. Bapak Halim Mudia ST., MT. Selaku penguji tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membantu baik pada kepribadian penulis sendiri maupun pada tugas akhir penulis.
11. Dosen-dosen dan staf di Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, mendidik, membimbing sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini.
12. Budi Putra Azmi, Andy Saputra, Ayu Farawita, Annisa Dahlia, dan M. Sauqy Abdyllah Azmi selaku saudara dan saudari penulis yang sangat membantu penulis.
13. Mahatir Muhammad, Joko Bagus, Alfian Khairi, dan Ahmad Iqbal selaku teman seperjuangan sesama mengerjakan tugas yang telah memberikan motivasi dan dorongan sehingga bisa sampai ditahap ini, dan juga terkadang sebagai donatur.
14. Rizky Ramadhan dan M. Fadel Ikhsan selaku sepupu penulis yang telah memberikan kritik dan saran pada penulis.
15. Teman-teman *class* B teman seperjuangan yang telah mengisi masa-masa perkuliahan dan berjuang bersama-sama selama berjalannya perkuliahan maupun diluar perkuliahan.
16. Teman-teman Instrumentasi 16 teman seperjuangan yang telah mengisi masa-masa perkuliahan dan berjuang bersama-sama selama berjalannya perkuliahan maupun diluar perkuliahan.
17. Teman-teman Teknik Elektro yang telah mengisi masa-masa perkuliahan dan berjuang bersama-sama selama berjalannya perkuliahan maupun diluar perkuliahan.
18. Teman-teman KKN Buana Bhakti serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebut satu per satu.

Dalam penyelesaian laporan promoin ini penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga laporan promoin ini bermanfaat khususnya bagi pembaca.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Pekanbaru, 16 Juni 2019

Eddy Darmawan

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PERSEMBAHAN

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

ABSTRACT

DAFTAR ISI .....	xixii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR RUMUS .....	xxvii
DAFTAR SINGKATAN .....	xxviii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
1.1. Latar Belakang .....	I-1
1.2. Rumusan Masalah.....	I-3
1.3. Tujuan Penelitian .....	I-4
1.4. Batasan Masalah .....	I-4
1.5. Manfaat Penelitian .....	I-4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Penelitian Terkait .....	II-1
2.2. Landasan Teori .....	II-3
2.2.1. Motor DC .....	II-3
2.2.1.1. Kontruksi Motor DC .....	II-4
2.2.1.2. Prinsip Kerja Motor DC .....	II-6
2.2.1.3. Model Matematis Motor DC .....	II-7
2.2.2. Sistem Kendali PID .....	II-9
2.2.2.1. Pengendali Proposional ( $K_p$ ) .....	II-10
2.2.2.2. Pengendali <i>Integrative</i> ( $K_i$ ).....	II-10
2.2.2.3. Pengendali <i>Derivative</i> ( $K_d$ ).....	II-11

2.2.3. Metode Quarter Decay.....	II-11
2.2.4. Fuzzy Logic.....	II-12
2.2.4.1. Himpunan Fuzzy .....	II-13
2.2.4.2. Fuzzifikasi .....	II-14
2.2.4.3. Aturan Fuzzy .....	II-16
2.2.4.4. <i>Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani</i> .....	II-16
2.2.4.5. Defuzzifikasi .....	II-17
2.2.5. Identifikasi Sistem .....	II-18
2.2.6. Interpolasi Linear .....	II-19

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Jenis Penelitian .....	III-1
3.2. <i>Flowchart</i> Penelitian .....	III-1
3.3. Tahap Penelitian .....	III-3
3.4. Pengumpulan Data.....	III-4
3.5. Pemodelan Matematis .....	III-5
3.6. Validasi Model Matematis .....	III-5
3.7. Perancangan Pengendali PID Quarter Decay .....	III-6
3.8. Perancangan Pengendali Fuzzy Mamdani.....	III-9
3.9. Perancangan pengendali Hybrid PID-Fuzzy Logic .....	III-12

### **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

4.1. Gambaran Umum Analisa .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.2. Analisa Sistem Kecepatan Motor DC Secara Open Loop.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.2. Analisa Sistem Kecepatan Motor DC dengan Pengendali PID .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.4. Analisa Sistem Kecepatan Motor DC dengan Pengendali Fuzzy Logic ....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.5. Analisa Sistem Kecepatan Motor DC dengan Hybrid .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.6. Analisa kekokohan setiap pengendali dengan memberikan Gangguan. ....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	

### **BAB V PENUTUP**



5.1. Kesimpulan .....	V-1
5.2. Saran .....	V-1

## DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Rangkain Motor DC seri .....	II-3
Gambar 2.2 Rangkain Motor DC <i>Shunt</i> .....	II-4
Gambar 2.3. Rangkaian motor DC kompon .....	II-4
Gambar 2.4. Konstruksi Jangkar .....	II-6
Gambar 2.5. Kontruksi Motor DC .....	II-6
Gambar 2.6. Rangkaian Motor DC .....	II-7
Gambar 2.7. Block Diagram Pengendali PID .....	II-10
Gambar 2.8. Kurva Respon <i>Quarter Amplitude Decay</i> .....	II-12
Gambar 2.9. Tahap perancangan sistem Fuzzy .....	II-13
Gambar 2.10. Representasi Linear Naik .....	II-14
Gambar 2.11. Representasi Linear Turun .....	II-15
Gambar 2.12. Representasi Segitiga .....	II-15
Gambar 2.13. Representasi Trapesium .....	II-16
Gambar 2.14. Spesifikasi Respon Transien .....	II-19
Gambar 2.15. Interpolasi Linier .....	II-19
Gambar 3.1. Skema <i>Flowchart</i> Penelitian .....	III-2
Gambar 3.2. Rangkaian <i>Open Loop Plant</i> .....	III-5
Gambar 3.3 Respon Sistem <i>Plant</i> Secara <i>Open Loop</i> .....	III-6
Gambar 3.4 Kurva Respon Quater Decay .....	III-6
Gambar 3.5 Rangkain <i>Parameter</i> Proposional .....	III-7
Gambar 3.6 Respon 1/4 Osilasi Quarter Decay .....	III-8
Gambar 3.7 Rangkain Sistem Kendali PID .....	III-9
Gambar 3.8. Fungsi Keanggotaan <i>Error</i> .....	III-9
Gambar 3.9. Fungsi keanggotaan <i>Derror</i> .....	III-10
Gambar 3.10. Fungsi Keanggotaan <i>Output</i> .....	III-10

Gambar 3.11 Viewer Surface Pengendali Fuzzy .....	III-12
Gambar 3.12. Rangkaian Sistem Kendali Fuzzy .....	III-12
Gambar 3.13. Rangkaian Sistem Kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic .....	III-13
Gambar 4.1. Rangkaian <i>Open Loop</i> .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.2 Respon Sistem Secara <i>Open Loop</i> .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.3. Nilai 5% dari Respon Sistem <i>Open Loop di Workspace</i> .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.4. Nilai 95% dari Respon Sistem <i>Open loop di Workspace</i> .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.5. Nilai <i>Settling Time</i> dari Respon Sistem <i>Open Loop di Workspace</i> .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.6. Nilai <i>Time Delay</i> dari Respon Sistem <i>Open Loop di Workspace</i> .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.7. Rangkaian Sistem dengan Pengendali PID .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.8 Respon Sistem dengan Pengendali PID .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.9. Nilai 5% dari Respon Sistem dengan Pengendali PID .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.10. Nilai 95% dari Respon Sistem dengan Pengendali PID .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.11. Nilai <i>Settling Time</i> dari Respon Sistem Sistem dengan Pengendali PID ...	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.12. Nilai <i>Time Delay</i> dari Respon Sistem Sistem dengan Pengendali PID .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.13. Nilai <i>Maximum Overshoot</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali PID ..	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.14. Nilai <i>Error Steady State</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali PID .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.15. Rangkaian Sistem Kendali Fuzzy Logic .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	

Gambar 4.16 Respon Sistem dengan Pengendali Fuzzy Logic .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.17. Nilai 5% dari Respon Sistem dengan Pengendali Fuzzy Logic .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.18. Nilai 95% dari Respon Sistem dengan Pengendali Fuzzy Logic .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.19. Nilai <i>Settling Time</i> dari Respon Sistem dengan Fuzzy Logic .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.20. Nilai <i>Time Delay</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali Fuzzy Logic....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.21. Nilai <i>ess</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali FuzzyLogic.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.22. Rangkaian Sistem Kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.23 Respon Sistem dengan Pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.24. Nilai 5% dari Respon Sistem dengan Pengendali Hybrid.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.25. Nilai 95% dari Respon Sistem dengan Pengendali Hybrid.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.26. Nilai <i>Settling Time</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali Hybrid. ....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.27. Nilai <i>Time Delay</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali Hybrid.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.28. Nilai <i>mp</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali Hybrid .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.29. Nilai <i>ess</i> dari Respon Sistem dengan Pengendali Hybrid .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 3.30 Rangkaian Pengendali PID dengan Gangguan.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.31 Respon Sistem PID dengan Gangguan 10% .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	

Gambar 4.32 Rangkain Fuzzy Logic dengan Gangguan 10% .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.33 Respon Sistem Fuzzy Logic dengan Gangguan 10% .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 3.34. Rangkain Pengendali Hybrid dengan Gangguan 10% .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Gambar 4.35 Respon Sistem Hybrid PID dan Fuzzy Logic dengan Gangguan 10% .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Nilai parameter dari motor DC .....	II-9
Tabel 2.2. Penalaan Parameter PID metode Quarter Decay .....	II-12
Tabel 3.1 Nilai parameter dari motor DC .....	III-4
Tabel 3.2. Proses mendapatkan nilai $\frac{1}{4}$ Osilasi .....	III-7
Tabel 3.3. Rule Base fuzzy.....	III-12
Tabel 4.1. <i>Respon Transiens</i> Sistem secara <i>Open Loop</i> .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabel 4.2. <i>Respon Transiens</i> Sistem dengan Pengendali PID.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabel 4.3. <i>Respon Transiens</i> Sistem dengan Pengendali Fuzzy .....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabel 4.4. <i>Respon Transiens</i> Sistem dengan Pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic ..	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabel 4.5. Perbandingan Pengendali.....	VI-
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	

## DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
Rumus 2.1. Fungsi Alih Motor DC.....	II-7
Rumus 2.2. Pengendali P.....	II-9
Rumus 2.3. Pengendali I .....	II-10
Rumus 2.4. Pengendali D .....	II-10
Rumus 2.5. Penalaan Parameter PID Metode Quater Decay .....	II-13
Rumus 2.6. Representasi Linear Naik.....	II-13
Rumus 2.7. Representasi Linear Turun.....	II-13
Rumus 2.8. Representasi Segitiga.....	II-14
Rumus 2.9. Representasi Trapesium.....	II-14
Rumus 2.10. Metode <i>Max</i> .....	II-15
Rumus 2.11. Metode <i>Sum</i> .....	II-15
Rumus 2.12. Metode <i>OR</i> .....	II-15
Rumus 2.13. Defuzzifikasi Metode <i>Centroid</i> .....	II-16
Rumus 2.13. Defuzzifikasi Metode <i>Bisector</i> .....	II-16
Rumus 2.14. <i>Maximum Overshoot</i> .....	II-17
Rumus 2.14. Interpolasi .....	II-18



## DAFTAR SINGKATAN

DC	= <i>Direct Current</i>
PID	= <i>Propositional, Integrative, dan Derivative</i>
Kp	= <i>Konstanta Propositional</i>
Ki	= <i>Konstanta Integrative</i>
Kd	= <i>Konstanta Derivative</i>
PB	= <i>Propositional Band</i>
td	= <i>Delay Time</i>
tr	= <i>Rise Time</i>
PB	= <i>Propositional Band</i>
mp	= <i>Maximum Peak</i>
ti	= <i>Time Integral</i>
td	= <i>Time Derivative</i>
Matlab	= <i>Matrix Laboratory</i>
Probor	= <i>Probalistik OR</i>
MOM	= <i>Max Min Of Maximum</i>
SOM	= <i>Smallest Of Maximum</i>
LOM	= <i>Largest Of Maximum</i>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Lebih kurang 15 abad lalu Allah SWT telah menurunkan ayat pertama didalam Quran yang berbunyi *iqra'* yang berarti "bacalah". Perintah membaca ini adalah yang melatar belakangi kemajuan zaman di era modern ini, disertai dengan rasa keingintahuan dan kehausan manusia akan ilmu. Perintah membaca membuat manusia menciptakan teknologi-teknologi yang canggih sehingga memudahkan manusia dalam pekerjaan, membantu komunikasi jarak jauh, dll.

Teknologi yang baik adalah teknologi yang dapat membantu Manusia untuk meningkatkan efisiensi kerjanya, ada banyak jenis penemuan Teknologi yang sangat berguna bagi industri salah satunya yaitu motor DC. Motor DC biasanya digunakan pada mesin kereta api, mobil listrik, lift, aplikasi robot, jendela mobil, proses pencampuran industri yang kompleks, dan lain-lain [1]. Motor DC adalah jenis Motor yang paling awal digunakan karena memiliki karakteristik pengendalian yang bagus [2]. Motor DC lebih banyak digunakan dibandingkan dengan motor induksi, alasannya motor DC lebih mudah dikendalikan, relatif murah, dan biaya perawatannya juga murah [3], motor DC mempunyai daerah pengaturan yang lebih luas dibandingkan motor induksi [4].

Parameter yang harus dikendalikan pada motor DC yaitu posisi dan kecepatan. Pengendalian pada motor DC harus dilakukan baik itu disaat start ataupun disaat berhenti, tujuannya untuk menghindari kerusakan seperti pada bantalan peluru, poros motor, dan merusak beban yang diputar [5], dan juga Kecepatan motor DC mengalami penurunan kinerja yang disebabkan oleh beban sehingga kecepatan motor DC melambat dan tidak konstan [6]. Pengujian sistem kecepatan motor DC secara *open-loop* atau tanpa pengendali membuahkan hasil respon sistem yang stabil tapi sistem melewati nilai *setpoint* yang diberikan. Maka dari itu diperlukan pengendalian pada kecepatan putaran dari motor DC agar respon sistem mencapai *setpoint* dan tahan dengan gangguan.

Pengendali PID adalah (*Proporsional Integral Derivative*) adalah satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengendalian proses industri sampai saat ini. Berdasarkan survey, penggunaan pengendali PID sebagai pengendali utama pada industri proses dipersentasikan sebesar 97% [7]. Pengendali PID mempunyai 3 komponen aksi utama yaitu *Proporsional*, *Integral*, dan *Derivative*, masing-masing aksi kendali ini

mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*, dan aksi kendali *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *overshot* dan *undershot* [8].

Banyak variasi untuk mendapatkan parameter PID seperti metode Konvensional, *trial and error* dan *auto-tunning*. Penggunaan *trial and error* memiliki kelemahan memakan waktu yang banyak disebabkan harus menyetel nilai parameternya satu-satu sehingga diperlukan ketelitian dalam menyesuaikan setiap parameternya, sedangkan kelemahan *auto-tunning* terkadang penyetelan otomatis tidak menghasilkan hasil yang baik oleh sebab itu diperlukan juga penyetelan secara manual, sehingga metode konvensional lebih diuntungkan. Metode konvensional diimplementasi dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan sehingga waktu diperlukan lebih singkat. Salah satu metode konvensional adalah metode Quarter Decay. Metode Quarter Decay adalah bentuk penyempurnaan dari metode Ziegler Nichlos, yang mana metode Ziegler Nichlos diimplementasi dengan mendapatkan osilasi pada sistem sedangkan tidak semua sistem dapat mentolerir osilasi, maka pada metode Quarter Decay dilakukan cukup dengan mendapatkan respon sistem yang amplitudo perioda pertama memiliki perbandingan seperempat dengan perioda selanjutnya [9].

Pada industri-industri pemakaian aksi kendali PID mungkin masih dianggap kurang memuaskan, sebab jika menggunakan aksi kendali PID didapatkan jika suatu pengendali di *set* sangat sensitif, maka *overshot* atau *undershot* yang dihasilkan akan semakin peka, sehingga osilasi yang ditimbulkan akan lebih tinggi [10]. Dikeadaan yang lain kita diperkenalkan dengan menerapkan suatu sistem kemampuan manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan. Jika – maka (*if-then rules*), sehingga proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik, sistem ini disebut dengan sistem kendali Fuzzy Logic. Fuzzy Logic banyak diterapkan dalam bidang kendali otomasi dan industri, karena tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang dikendalikan [11]. Metode Mamdani merupakan salah satu metode yang digunakan dalam Fuzzy Logic, metode Mamdani adalah metode yang paling banyak digunakan pada dalam literatur [11]. Pengendali Fuzzy Logic tipe Mamdani lebih cocok digunakan ketika *plant* yang tidak diketahui secara pasti, tetapi terdapat operator atau pakar yang mengetahui perilaku dan karakteristik sistem yang dikendalikan. Untuk

mengatasi kelemahan dari aksi kontrol PID maka diperlukan penggabungan antara pengendali PID dengan logika Fuzzy.

Penelitian Hybrid PID dan Fuzzy Logic telah banyak dilakukan salah satunya yaitu dalam pengendalian keseimbangan pendulum pada sistem *rotary pendulum inverter*, tujuan dari pengendalian ini yaitu untuk menjaga keseimbangan pendulum tetap dalam posisi diatas. Kecocokan penggabungan pengendali PID dan Fuzzy Logic terbukti menghasilkan respon sistem yang baik dan tahan akan penambahan gangguan, pengendali ini dapat menjaga keseimbangan pendulum saat diberikan setpoint sebesar 0.1 *radian* dengan menghasilkan *settling time* 0.7 dan *error steady state* sebesar 0.000123 *radian*, di saat ditambahkan gangguan perubahan sudut maksimal terjadi sebesar 0.0014 dan *recovery time* pada keadaan *steady state* diganggu ke 3 sampai ke 5 sebesar 0.2 detik dan gangguan detik ke 6 sampai ke 8 sebesar 1.2 detik [12]. Penelitian Hybrid PID dan Fuzzy Logic pada kecepatan motor DC telah pernah dilakukan, yang mana penelitian sebelumnya metode *tunning* PID yang digunakan adalah metode Ziegler nichlos. Disaat berikan setpoint 100 rad/s nilai *steady state* pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic melebihi *setpoint* yang diberikan sedangkan saat diberikan *setpoint* 200 rad/s nilai *steady state* kurang dari *setpoint* sehingga pada penelitian ini penulis ingin menggunakan metode Quarter Decay pada pengendali PID-nya [10].. Pembuktian kecocokan metode Quarter Decay pada kecepatan motor DC telah dilakukan pada penelitian perbandingan metode *tunning* pengendali PID berdasarkan respon waktu, Adapun metode yang diuji adalah metode Ziegler Nichlos, Tyreus Luyben, *auto-tunning* dan Quarter Decay. Pengujian yang dilakukan adalah dalam mencapai *setpoint* dan penambahan gangguan, pengujian mencapai *setpoint* metode Quarter Decay adalah metode terbaik karena menghasilkan respon sistem yang paling cepat 0.0068 detik, adapun disaat ditambahkan gangguan metode yang memiliki kekokohan yang paling bagus adalah metode Tyreus Luyben dan Quarter Decay [13].

Berdasarkan uraian latar belakang diatas dan penelitian sebelumnya penulis tertarik melakukan penelitian sistem kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic pada kecepatan pada motor DC. Penulis menarik judul penelitian ini “ **Perancangan sistem Kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic Pada Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Quarter Decay**”.

## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini:



1. Bagaimana pengaruh penggunaan metode Quarter Decay pada pengendali PID di kecepatan motor DC?
2. Bagaimana perbandingan pengendali PID, pengendali Fuzzy Logic, dan penggabungan pengendali PID dan Fuzzy Logic dalam mencapai *setpoint* dan penambahan gangguan pada kecepatan motor DC

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini:

1. Mendapatkan respon pengendali PID pada kecepatan motor DC saat *ditunning* dengan metode Quarter Decay.
2. Mendapatkan respon terbaik dari perbandingan pengendali PID, Fuzzy Logic, dan Hybrid PID dan Fuzzy Logic pada kecepatan motor DC

### **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Sistem yang diuji adalah sistem kecepatan motor DC orde 2.
2. Penurunan model matematis sistem kecepatan motor DC mengikuti penelitian B.M. Patre Dkk.
3. Variabel yang dikendalikan adalah Motor DC.
4. Tidak melakukan pengujian dan pembahasan pada *hardware* motor DC.
5. Perancangan Pengendali Fuzzy Logic menggunakan metode Mamdani.
6. Pengujian dan simulasi menggunakan *software* Matlab.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari melakukan penelitian ini adalah:

1. Bagi Penulis
  - a. Salah satu syarat menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau.
  - b. Menambah dan memperluas pengetahuan mengenai perancangan sistem kecepatan motor DC dengan pengendali PID dan Fuzzy Logic.
2. Pembaca dan Program Studi Teknik Elektro
  - a. Sebagai bahan pembelajaran untuk memahami dan mengembangkan sistem kendali PID dan Fuzzy Logic pada sistem orde 2.
  - b. Sebagai referensi bagi mahasiswa lain untuk penulisan tugas akhir yang terkait analisa sistem kendali

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terkait

Penelitian menggunakan motor sudah banyak dilakukan sebelumnya, salah satunya yaitu penelitian memodelkan dan mengendalikan motor DC dengan simulasi matlab. Pengujian dilakukan adalah menguji motor DC secara daur terbuka dan daur tertutup ( adanya umpan balik) pada starting dengan pengaturan tegangan jangkar dan tahanan seri. Adapun kesimpulan pengujianya yaitu menjalankan motor DC menyebabkan arus starts besar yang besar sehingga harus dilakukan pengaturan menggunakan tahanan seri dan tegangan jangkar, agar tidak mengalami kerusakan maka motor DC dikendali dengan baik pada saat start ataupun saat berhenti. Pada penelitian ini pengendalian masih digunakan dengan manual yaitu dengan menyetel nilai tahanan seri atau tegangan jangkar sehingga penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menambahkan pengendali konvensional atau pengendali cerdas [5].

Perkembangan penelitian menggunakan motor DC sudah banyak dilakukan sebelumnya. salah satunya yaitu penelitian menggunakan pengendali PID, pada penelitian tersebut untuk mendapatkan parameter dari PID masih menggunakan metode *trial and error*, Pengujian yang dilakukan adalah menguji sistem dalam mencapai setpoint yang diberikan. Adapun hasil pengujian didapatkan pengendali PID menghasilkan respon sistem sudah cukup baik dengan waktu yang dibutuhkan sistem dalam mencapai kestabilan adalah 0.59 detik, akan tetapi respon sistem PID masih menghasilkan *overshoot* dan *undershoot* sehingga sistem terlihat berosilasi sehingga pengendali PID terlihat belum pada *plant* tersebut, dan pada penelitian tersebut belum dilakukan pengujian kekokohan terhadap gangguan sinyal kendali [14].

Alasan penggunaan metode Quarter Decay motor DC sudah dilakukan pada penelitian perbandingan metode tuning berdasarkan *time response*. Adapun metode *tunning* yang digunakan adalah Ziegler Nichlos osilasi, Tyreus-Luyben, Auto Tunning, dan Quarter Decay, dari beberapa metode tadi dilakukan pengujian terhadap dan penambahan sinyal kendali. Dari beberapa metode tadi dalam pencapaian *setpoint* metode Quarter Decay adalah metode yang menghasilkan *time response* terbaik dengan waktu mencapai keadaan stabil paling cepat yaitu 0.0068 detik namun memiliki overshoot sebesar 36.9%. Dari penambahan gangguan sinyal kendali metode yang terbaik adalah metode Quarter

Decay dan Tyreus-Luyben karena tidak mengalami *error steady stade* saat diberikan gangguan sinyal kendali. Maka penelitian tersebut dapat dilanjutkan dengan pengendali PID Quarter Decay dapat digabungkan dengan pengendali lain untuk mengurangi *overshoot* yang dihasilkan [13].

Studi perbandingan metode pengendali Fuzzy pada kecepatan motor DC sebelumnya telah dilakukan, salah satunya penelitian perbandingan metode mamdani dan sugeno. Penelitian tersebut dilakukan dilakukan dengan perbandingan mencapai *setpoint* dan pengujian kekokohan dari pengendali adapun metode yang paling bagus digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC adalah metode mamdani karena memiliki *time settling* lebih bagus dibandingkan metode Sugeno, disaat ditambahkan gangguan metode Mamdani lebih kokoh karena memiliki *error stady stade* yang lebih kecil. Sehingga untuk penggunaan pengendali Fuzzy pada keceptan motor DC metode Mamdani lebih disarankan [11].

Penelitian yang terkait selanjutnya yaitu meimplementasi kendali Kecepatan Motor DC dengan Pengendali Fuzzy-PID dengan *software* Real Time Windows Target Matlab 6.5. Dalam sistem kendalinya, yang berfungsi sebagai pengendali utama adalah pengendali PID sedangkan pengendali Fuzzy (logika kabur) berfungsi untuk meminimalisir terjadinya lewatan (*overshoot*). Pada pengujian tanpa beban didapatkan tanggapan sistem motor DC menunjukkan hasil yang cukup optimal dilihat dari parameter-parameter waktu naik (*rise time / Tr*) 1 sekon (detik), Waktu penetapan (*settling time / Ts*) 1.25 sekon (detik), Lewatan (*overshoot /Mp*) 0.1 %, dan galat pada keadaan tunak (*steady state error*) sebesar 0.96 %. Saat ditambah beban 1 Kg kendali PID-Fuzzy mampu meredam efek penambahan beban tersebut sehingga kecepatan motor tetap sesuai dengan nilai yang diinginkan dengan sedikit osilasi. Penelitian tersebut masih menggunakan metode *trial and error* dalam mendapatkan parameter PID-nya sehingga dapat dilanjutkan dengan menggunakan metode *tunning* yang lain [15].

Dari Penelitian terkait diatas penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian sebelumnya dengan judul penelitian **“Perancangan sistem Kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic Pada Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Quater Decay”**.

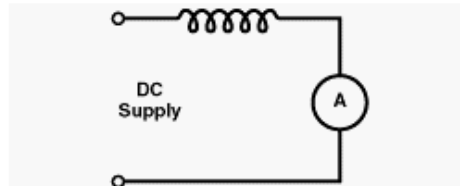
## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Motor DC

Motor DC adalah suatu perangkat elektronika yang dapat mengubah energi dari besaran listrik menjadi energi kinetik berupa putaran. Motor DC digunakan oleh teknisi elektro sebagai aktuator pemutar alat-alat industri. Motor DC menggunakan dua terminal dan membutuh catu daya dari arus searah karena itu dimanakan dengan motor DC. Pada kumparan motor DC terdapat dua bagian yaitu bagian yang tidak bergerak disebut *stator* dan bagian yang bergerak memutar disebut dengan *Rotor*. Jenis-jenis motor DC terbagi tiga yaitu

#### 1. Motor DC seri

Bahan yang digunakan untuk motor DC seri adalah sedikit gulungan kawat yang dihubungkan dengan jangkar. Motor DC seri mempunyai keistimewaan yaitu karakteristik *torsi* yang besar dan kecepatan putaran yang cepat sehingga motor ini dapat menggerakkan beban yang berat. Motor seri sering disebut dengan motor *universal*, karena penggunaannya yang fleksibel dengan artian motor seri dapat digunakan dengan arus searah dan arus bolak-balik [16], berikut rangkain motor DC seri:.

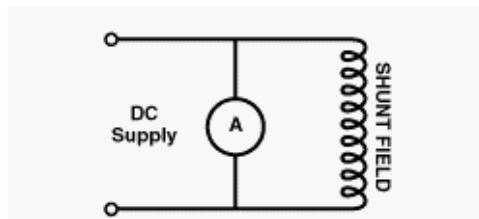


Gambar 2.1. Rangkain Motor DC seri [17]

Motor seri sering dirangkai langsung dengan beban karena motor seri tidak dapat dioperasikan tanpa dikasih beban, mengoperasikan motor DC jenis seri tanpa beban sangat dihindari karena putaran motor DC seri cepat sehingga tak terkendali dan pengoperasian tanpa beban juga menyebabkan lilitan pada motor ini rusak.

#### 2. Motor DC *Shunt*

Pada motor *shunt* Kumparan medan *shunt* dibuat dengan banyak dengan lilitan kawat kecil, sehingga motor *shunt* memiliki ketahanan yang tinggi. Rangkain motor *shunt* kumparan medan di hubungkan paralel dengan jangkar yang dapat memberikan ketahanan dan putaran yang konstan, motor *shunt* cocok digunakan pada komersial dengan beban yang rendah dan motor ini memiliki pengaturan kecepatan yang bagus [16]. Berikut rangkain motor *shunt*:

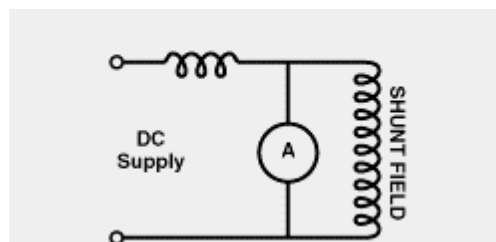


Gambar 2.1 Rangkain Motor DC *Shunt* [17]

Motor *shunt* dapat dikendalikan dengan kecepatan dasar dengan menambahkan *reostat* pada rangkaian medan *shunt* yang mana *reostat* dipasang secara seri, kecepatan motor akan berbanding terbalik dengan arus medan sehingga apabila medan rendah maka motor *shunt* akan berputar dengan cepat dan apabila arus ditambah kecepatan motor akan berkurang atau melambat. Total arus motor *shunt* dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo [16].

### 3. Motor DC Kompon

Motor DC Kompon merupakan penggabungan lilitan motor seri dan *shunt* sehingga medannya bertambah secara kumulatif. Pada motor ini jangkar dihubungkan secara seri dan paralel dengan kumparan medan. Sehingga, motor kompon memiliki *torque start* awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Tingkat penyalaan awal yang dapat diatasi oleh motor kompon tergantung pada persentase dari penggabungan seri dan paralel nya semakin tinggi akan semakin bagus. berikut adalah rangkaian motor kompon:



Gambar 2.2. Rangkaian motor DC kompon [17]

Variasi kecepatan motor kompon lebih banyak daripada variasi kecepatan motor *shunt* tapi tidak sebanyak variasi dari kecepatan motor seri, motor kompon juga mempunyai torsi *starting* yang lebih besar dari motor *shunt* tapi lebih sedikit dibandingkan motor seri. Keistimewaan dari penggabungan dua motor ini memberikan variasi pada penggunaanya yang fleksibel.

#### 2.2.1.1. Kontruksi Motor DC

##### 1. Badan Motor DC



Badan motor DC berfungsi untuk tempat letaknya bagian-bagian tertentu dan melindungi bagian-bagian motor DC, untuk mengetahui spesifikasi umum dari motor DC dapat dilihat dari papan nama yang ada pada badan motor DC, papan nama ini tertulis informasi- informasi penting dalam spesifikasi dari motor DC. Badan motor DC terbuat dari bahan ferromagnetik sehingga fungsi utama dari badan motor DC adalah sebagai wadah mengalirnya aliran-aliran fluks magnet [18].

## 2. Inti Kutub Magnet Dan Lilitan Penguat Magnet

Kutup dari magnet berfungsi sebagai penghasil fluks magnet yang disebarkan ke seluruh jangkar dari inti kutup yang berlapis baja dengan menggunakan permukaan yang melengkung, hal ini disebabkan oleh kutup magnet yang menahan menahan medan kumparan. Sedangkan lilitan penguat magnet berfungsi sebagai pelaku proses elektromagnetik dengan mengalirkan arus keseluruhan badan dari motor DC [18].

## 3. Sikat-Sikat

Sikat- sikat pada motor DC berfungsi untuk menjembatangi aliran arus yang mengalir ke kumparan jangkar, sikat- sikat berkontribusi penting dalam proses komutasi yang terjadi di motor DC. Sikat dan komutator akan selalu bergesekan yang mana pada proses mesin komponen-komponen yang selalu bergesekan akan menyebabkan komponen aus, maka solusi dari permasalahan tersebut dibuatlah bahan dari sikat motor dengan bahan yang lebih lunak dari komutator. Sikat motor DC biasanya terbuat dari bahan *coal* [18].

## 4. Komutator

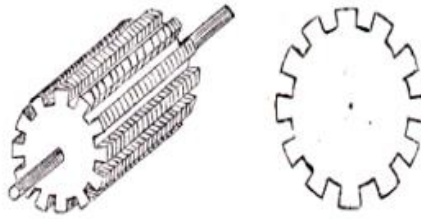
Komutator adalah suatu konverter mekanik yang dapat membuat arah arus yang mengalir dari sumber ke arah yang tetap walaupun belitan medan sedang berputar. Komutator yang digunakan dalam motor arus searah pada prinsipnya mempunyai dua bagian yaitu [18]:

- a. Komutator *bar* merupakan tempat terjadinya pergesekan antara komutator dengan sikat-sikat.
- b. Komutator *riser* merupakan bagian yang menjadi tempat hubungan komutator dengan ujung dari lilitan jangkar.

## 5. Jangkar (angker)

Pada umumnya jangkar yang digunakan pada motor DC berbentuk selinder dan diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya GGL lawan. Jangkar dibuat dari bahan berlapis-lapis tipis gunanya untuk

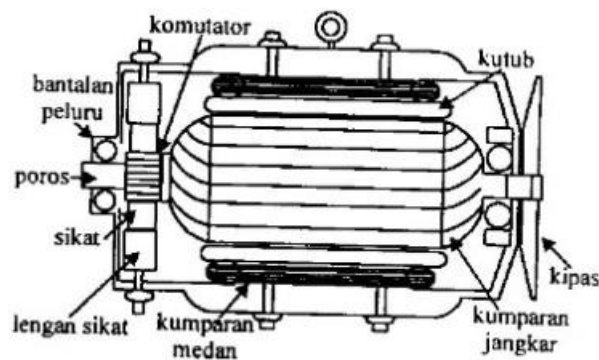
mengurangi panas yang terbentuk karena adanya arus liar (*Edy current*). Bahan yang digunakan jangkar ini sejenis campuran baja silikon [18].



Gambar 2.4. Konstruksi Jagkar [18]

#### 6. Lilitan jagkar (angker)

Lilitan jagkar pada motor DC adalah tempat GGL terjadi pada motor DC



Gambar 2.5. Kontruksi Motor DC [14]

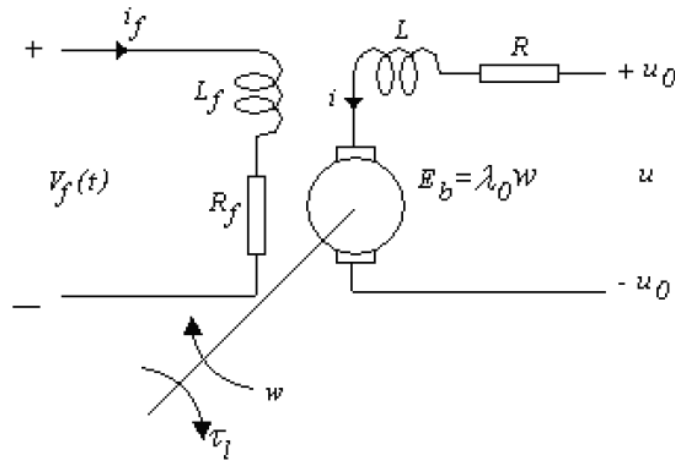
#### 2.2.1.2. Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip Kerja dari motor DC adalah sebagai berikut [19]:

1. Bila arus listrik ( $I$ ) dialirkan melalui suatu konduktor di medan magnet, maka akan timbul gaya mekanis arahnya sesuai oleh aturan tangan kiri (*Teori Fleming*) dengan besaran (*magnitude*).
2. Di bawah kutub sikat arang menyentuh terminal *rotor*, saat sikat arang terhubung dengan sumber DC maka dari luar tegangan masuk ke terminal kumparan *rotor* maka berlaku satu gaya yaitu gaya *Lorentz*.
3. Saat gaya ( $F$ ) tersebut dibandingkan, konduktor akan bergerak di dalam kumparan medan magnet dan menimbulkan gaya gerak listrik yang merupakan reaksi lawan terhadap tegangan sumber. Agar proses perubahan energi mekanik tersebut dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar dari pada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Pemberian arus pada kumparan jagkar yang dilindungi oleh medan akan menimbulkan perputaran pada motor DC.

### 2.2.1.3. Model Matematis Motor DC

Fungsi alih dari motor DC adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6. Rangkaian Motor DC [20]

Dari rangkaian listrik diatas, model matematis motor DC dapat dibagi menjadi dua yaitu bagian elektrik dan bagian mekanik. Bagian elektrik terdiri dari tahanan dan induktansi jangkar, maka dapat dibuat persamaan diferensialnya berdasarkan hukum *Kirchhoff* [21] seperti dinyatakan oleh persamaan (1).

$$V(t) = R_a i_a(t) + l_a \frac{di_a}{dt} + e(t) \quad (1)$$

Adapun  $e(t)$  adalah konstanta  $K_b$  tegangan induksi yang tergantung pada sudut ( $\omega(t)$ ) maka:

$$e(t) = k_b \omega_m(t) \quad (2)$$

Substitusikan persamaan (2) ke persamaan (1) sebagai berikut:

$$V(t) = R_a i_a(t) + l_a \frac{di_a}{dt} + k_b \omega_m(t) \quad (3)$$

Untuk struktur mekaniknya berlaku hukum Newton [21]. Dalam hal ini torsi motor ( $T_e$ ) berbanding lurus dengan perkalian konstanta torsi motor ( $K_t$ ) dengan arus armatur  $i_a$ , sehingga persamaan torsi motor ( $T_e$ ) dapat dilihat sebagai berikut:

$$T_e(t) = K_t i_a(t) \quad (4)$$

Pada struktur mekanik motor DC, terdapat persamaan kesetimbangan torsi motor dengan beban, di torsi motor terdapat Momen inersia, dan pada beban terdapat torsi damper. Torsi yang dihasilkan motor melakukan pergerakan terhadap inersia dan gesekan viskos, sehingga persamaan dapat dilihat sebagai berikut:

$$T_e(t) = J \frac{d\omega_m}{dt}(t) + B_t \omega_m(t) \quad (5)$$

Persamaan (3) dan (4) diasumsi semua kondisi awal sama dengan nol, setelah itu rubah persamaan (3) dan (4) kebentuk *laplace* maka akan dapat seperti dibawah ini:

$$\begin{aligned} V(s) &= R_a I_a(s) + sL_a I_a(s) + K_b \omega_m(s) \\ &= (R_a + sL_a) I_a(s) + K_b \omega_m(s) \end{aligned} \quad (6)$$

Sehingga untuk persamaan  $I_a(s)$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I_a(s) = \frac{V(s) - K_b \omega_m(s)}{R_a + sL_a} \quad (7)$$

Dan bentuk laplace dari struktur mekanik:

$$L\{T(s) = J \frac{d\omega_m}{dt}(t) + B_t \omega_m(t)\} \quad (8)$$

Sehingga menjadi:

$$\begin{aligned} T(s) &= sJ \omega_m(s) + B \omega_m(s) \\ &= (sJ + B) \omega_m(s) \end{aligned} \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan (4) maka dapat ditulis:

$$K_t I_a(s) = (sJ + B) \omega_m(s) \quad (10)$$

Dalam pemodelan motor DC, adapun inputnya adalah energi listrik  $V(s)$  sedangkan yang menjadi outputnya adalah energi mekanik  $\omega_m(s)$ . Maka bentuk fungsi alih dari sistem motor DC yaitu  $G(s) = \frac{\omega_m(s)}{V(s)}$ , sehingga dilakukan substitusi persamaan (7) ke persamaan (10), maka bentuk yang diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_t \frac{V(s) - K_b \omega_m(s)}{R_a + sL_a} &= (sJ + B) \omega_m(s) \\ K_t (V(s) - K_b \omega_m(s)) &= (sJ + B) \omega_m(s) (R_a + sL_a) \\ K_t V(s) - K_t K_b \omega_m(s) &= (sJ + B) \omega_m(s) (R_a + sL_a) \\ K_t V(s) &= (sJ + B) \omega_m(s) (R_a + sL_a) + K_t K_b \omega_m(s) \\ \frac{\omega_m(s)}{V(s)} &= \frac{K_t}{(sJ + B)(R_a + sL_a) + K_t K_b} \end{aligned} \quad (11)$$

Selanjutnya ,sehingga diperoleh

$$\frac{\omega_m(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{JLs^2 + sJR_a + L_a B + BR_a + K_t K_b}$$

$$\frac{\omega_m(s)}{V_s(s)} = \frac{\frac{K_t}{JL}}{s^2 + s \frac{JR_a + L_a B}{JL_a} + \frac{BR_a + K_t K_b}{JL_a}} \quad (12)$$

adapun nilai parameter yang dipakai berdasarkan penelitian B.M. Patre yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai parameter dari motor DC [20]

Parameter	Nilai	Satuan
R	0.5	$\Omega$
L	1	Mh
$K_t$	0.008	NmA-1
$K_b$	0.001	V rad-1
J	0.001	$\text{Kgm}^2$
B	0.010	Nm rads-1
V(s)	240	Volt

**Keterangan:**

V = Tegangan armatur

$i_a$  = Arus armatur

L = Induktansi armatur

R = Resistansi armatur

E = *Back emf*

T = Torsi motor

$\omega$  = Kecepatan sudut motor

J = Momen inersia

B = Koefisien gesekan viskos

$K_b$  = Konstanta back emf

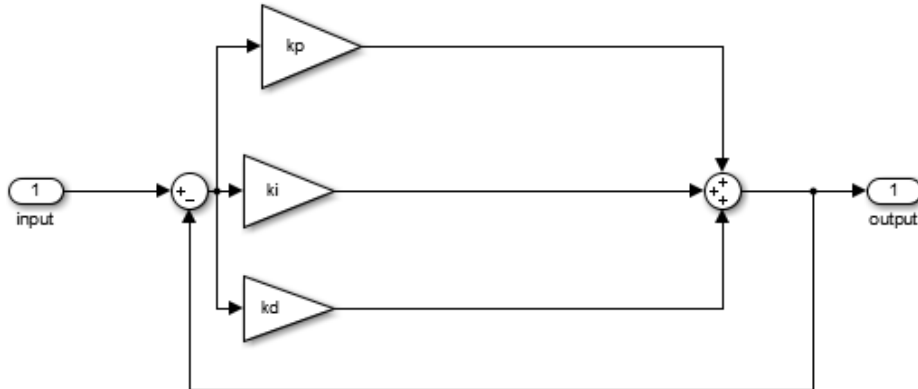
$K_t$  = Konstanta torsi

**2.2.2. Sistem Kendali PID**

Pengendali PID adalah Pengendali paling Paling umum digunakan pada industri seperti pada mesin cuci, mesin pompa air, sepeda motor, dll. Menurut survey, 97% mesin industri yang berkecimpungan dalam pengolahan industri menggunakan sistem kendali PID sebagai pengendali utamanya [7]. Alasan menggunakan PID adalah karena algoritmanya sederhana sehingga mudah dipakai dan diimplementasi pada alat industri

Sistem kendali *Proportional-Integrative-Derivative controller* (PID) merupakan pengendali yang digunakan untuk menentukan presisi pada suatu sistem pengukuran dengan adanya umpan balik pada *setpoint* sistem tersebut. Pengendali PID mempunyai 3

komponen pengendali utama yaitu kendali *Proportional* (P), *Integrative* (I), dan *Derivative* (D) yang memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri dan dapat saling membantu dalam mengerjakan suatu sistem.



Gambar 2.7. Block Diagram Pengendali PID [22]

### 2.2.2.1. Pengendali Proposional (Kp)

Pengendali proposional sering di simbol dengan P pada sistem kendali PID. Kontribusi pengendali P pada sistem, yaitu dapat menambah atau mengurangi tingkat kestabilan sistem, dapat menaikkan *rise time* dan *settling time* pada respon *transient* dan juga pengendali P dapat mengurangi *steady state error* sistem yang mana apabila kita menginginkan mengurangi *error* maka kita harus menaikkan nilai Kp-nya sehingga nilai Kp-nya besar semakin tinggi nilai Kp maka semakin berkurang *error*-nya tapi dengan menaikkan nilai Kp maka sistem menjadi tidak stabil [23]. pengendali P ini akan memberikan pengaruh langsung pada sistem yang sebanding dengan *error*. Adapun kekurangannya apabila nilai pengendali P terlalu tinggi maka semakin tinggi *overshoot* yang dihasilkan dan respon sistem akan berosilasi.

Persamaan pengendali proposional sebagai berikut [24]:

$$u(t) = Kpe(t) \tag{11}$$

### 2.2.2.2. Pengendali Integrative (Ki)

Pengendali integral biasanya disimbolkan dengan I pada pengendali PID. Pengendali I berfungsi untuk menghilangkan *steady state error* pada sistem sehingga respon sistem tidak mengalami osilasi. Dengan menggunakan hanya pengendali P sistem kadang tidak mencapai nilai *setpoint* yang diinginkan maka dari itu dibantu dengan pengendali I. Kekurangan dari pengendali I adalah apabila nilai I terlalu tinggi maka membuat

ketidakstabilan dalam sistem dan *overshoot* yang tinggi, dan juga pengendali I tidak bisa berdiri sendiri dengan artian pengendali I harus dibarengi dengan pengendali P.

Persamaan pengendali integral sebagai berikut [24]:

$$u(t) = K_i e(t) dt \quad (12)$$

Untuk mendapatkan nilai dari  $K_i$  dapat menggunakan persamaan berikut:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (13)$$

### 2.2.2.3. Pengendali Derivative (Kd)

Pengendali Derivatif biasanya disimbolkan dengan D. Besar *output* dari pengendali derivatif memiliki sifat seperti operasi diferensial pada umumnya. Pengontrol derivatif menggunakan kecepatan perubahan sinyal kesalahan sebagai parameter pengendali. Apabila tidak ada perubahan sinyal *error*, maka *output* dari pengendali derivatif tidak akan berubah [23]. Pengendali D berfungsi sebagai penurun *overshoot* dan meningkatkan kestabilan pada sistem. Kekurangan dari pengendali D adalah pengendali membuat *rise time* sistem semakin lama dan pengendali D tidak bisa berdiri sendiri.

Persamaan pengendali derivatif sebagai berikut [24]:

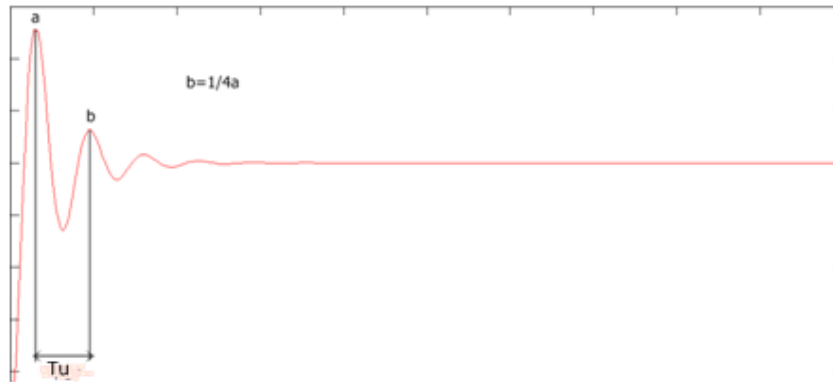
$$u(t) = K_d \frac{du}{dt} e(t) \quad (14)$$

Untuk mendapatkan nilai  $K_d$  dapat menggunakan persamaan berikut:

$$K_d = K_p(T_d) \quad (15)$$

### 2.2.3. Metode Quarter Decay

Nilai parameter PID didapatkan dari melakukan *tunning*, saat ini metode *tunning* sudah banyak berkembang ada metode *tunning* konvensional dan *auto-tunning*. Salah satu metode *tunning* adalah metode Quarter Decay, metode ini ditemukan oleh Cohen Coon. Metode Quarter Decay metode *ultimate cycle* yang memperbaiki metode Ziegler Nichlos osilasi karena tidak semua sistem yang metoleransikan osilasi yang terjadi pada sistem dengan amplitudo tetap [25]. Metode Quarter Decay diimplementasi dengan mendapatkan respon sistem *quarter amplitude decay* [26]. *Quarter amplitude decay* perbandingan dari osilasi pertama dan osilasi kedua sebesar  $\frac{1}{4}$ .



Gambar 2.8. Kurva Respon *Quarter Amplitude Decay* [25]

Untuk mendapatkan  $\frac{1}{4}$  osilasi langkah pertama padamkan semua moda kendali kecuali moda kendali proposional. Selanjutnya konstanta proposional disetel rendah dan ditingkatkan secara bertahap hingga mendapatkan  $\frac{1}{4}$  osilasi pada respon sistem yang dikendalikan. Nilai proposional pada saat mendapatkan  $\frac{1}{4}$  osilasi dinamakan disimbolkan dengan  $K_{pu}$  dan periode osilasi disimbolkan dengan  $T_u$  [22]. Adapun tabel penalaan metode ini sebagai berikut:

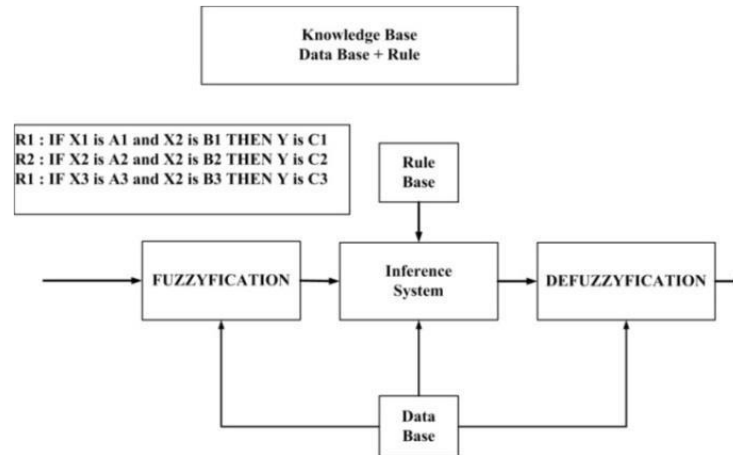
Tabel 2.2. Penalaan Parameter PID metode *Quarter Decay* [22]

Tipe	Kp	Ti	Td
P	$0.5 K_{pu}$		
PI	$0.45 K_{pu}$	$1/2 T_u$	
PID	$0.6 K_{pu}$	$0.5 T_u$	$0.125 T_u$

#### 2.2.4. Fuzzy Logic

Logika atau disebut juga dengan dasar pemikiran. Logika klasik pada umumnya berkaitan dengan proposisi yang mempunyai dua kemungkinan yaitu bisa berlogika 1 (benar) atau berlogika 0. Proposisi adalah kalimat yang dinyatakan dalam suatu bahasa dan dapat diekspresikan [27]. Fuzzy Logic adalah sebuah pemikiran yang tidak jelas atau samar. Istilah Fuzzy digunakan untuk membedakan satu himpunan dengan himpunan lainnya yang berdasarkan dengan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas. Sistem Fuzzy adalah sistem yang menggunakan bentuk nilai fuzzy dan logika Fuzzy dalam pengaplikasiannya. Dalam proses untuk membangun sebuah sistem Fuzzy maka sebuah sistem Fuzzy memiliki bagian-bagian yaitu fuzzifikasi, mesin *interface*, *Rule base* Fuzzy, dan defuzzifikasi.





Gambar 2.9. Tahap perancangan sistem Fuzzy [28]

### 2.2.4.1. Himpunan Fuzzy

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

Himpunan fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu:

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

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

1. Variabel Fuzzy, Variabel Fuzzy adalah variabel yang akan dibahas dalam sistem Fuzzy seperti : kecepatan, tegangan, dan temperatur
2. Himpunan Fuzzy, Himpunan Fuzzy merupakan himpunan yang menyatakan keadaan dan kondisi dalam suatu sistem Fuzzy.
3. Semesta Pembicaraan, Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang dibolehkan dalam dalam sistem Fuzzy dengan kata semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat bernilai positif maupun negatif

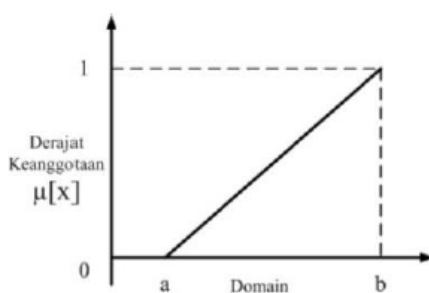
4. Domain, Domain himpunan Fuzzy adalah keseluruhan nilai yang dibolehkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan Fuzzy [29]. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain juga bisa bernilai positif maupun negatif
5. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*), Fungsi Keanggotaan adalah kurva yang menunjukkan pemetaan pada titik-titik *input* yang telah ditentukan ke nilai keanggotaan yang mana telah ditentukan *rangennya* [29]. Fungsi keanggotaan bisa berupa segitiga, trapesium, dll.

#### 2.2.4.2. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi yaitu suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi Fuzzy (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. Fuzzifikasi merupakan pemetaan dari ruang *input* ke himpunan Fuzzy yang didefinisikan pada semesta pembicaraan variabel *input* [27]. Berikut himpunan Fuzzy yang sering digunakan pada proses fuzzifikasi sebagai berikut:

1. Representasi Liner naik, Pada himpunan ini kenaikan himpunan Fuzzy dimulai nilai domain pada derajat keanggotaan terendah atau 0 bergerak naik ke kanan menuju ke nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi [29].

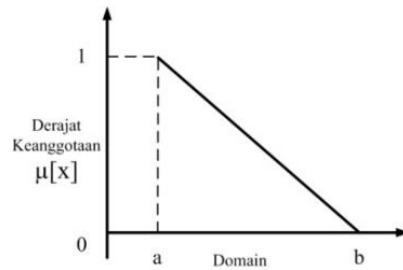
$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \left( \frac{x-a}{b-a} \right) & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (16)$$



Gambar 2.10. Representasi Linear Naik [28]

2. Representasi Linear Turun, pada himpunan ini dimulai dari nilai domain derajat keanggotaan yang tinggi dari kiri turun secara garis lurus menurun ke nilai domain derajat keanggotaan yang lebih rendah [29].

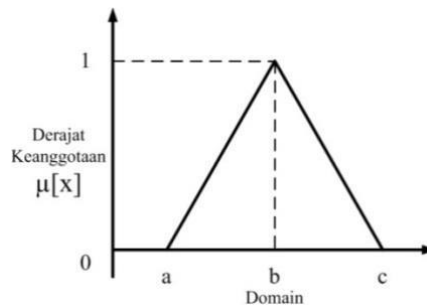
$$u_f(x) = \begin{cases} \left( \frac{b-x}{b-a} \right) & a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (17)$$



Gambar 2.11. Representasi Linear Turun [28]

3. Representasi Segitiga, Representasi segitiga adalah penggabungan antara dua garis linear [29], kurva segitiga dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

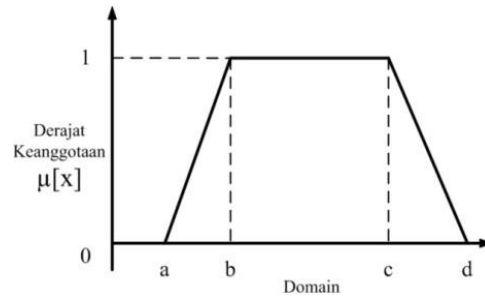
$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } x > c \end{cases} \quad (18)$$



Gambar 2.12. Representasi Segitiga [28]

4. Representasi Trapezium, Hampir sama dengan kurva segitiga tapi yang membedakan di beberapa titik nilai keanggotaannya 1 [29].

$$u_f(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ 1, & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{for } x > d \end{cases} \quad (19)$$



Gambar 2.13. Representasi Trapesium [28]

### 2.2.4.3. Aturan Fuzzy

Aturan kendali Fuzzy dinyatakan dengan kumpulan aturan *if-then* yang mana anteseden dan konsekuennya berupa variabel linguistik. Kumpulan aturan kendali Fuzzy tersebut merupakan relasi *input-output* dari sebuah sistem [27]. Berikut ini adalah empat metode dalam mendapatkan *rule base* sistem fuzzy :

1. Berdasarkan pengalaman para pakar dan pengetahuan kendali dari *engineer*, maksudnya berdasarkan pengoperasian manual dan metode kusioner.
2. Berdasarkan aksi operator kendali, metode ini dilakukan berdasarkan pengamatan manusia dalam pengendalian untuk menentukan *input* dan *output*nya.
3. Berdasarkan model Fuzzy dari sebuah sistem, maksudnya gambaran linguistik karakter yang dinamis dari suatu proses.
4. Berdasarkan pembelajaran, metode ini merujuk pada kemampuan untuk memodifikasi aturan Fuzzy seperti *self-organizing*

### 2.2.4.4. Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani

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

1. Tentukan derajat kesepadanan antara himpunan Fuzzy dan data masukan Fuzzy untuk setiap variabel *input* dari setiap aturan Fuzzy, Hal ini sering dilakukan dengan menggunakan derajat kemiripan [30].
2. Hitung penyulutan untuk semua aturan yang dibuat mengacu pada derajat sepadaman yang telah dibuat dan penghubung (fungsi logika seperti AND, OR, dll) yang digunakan oleh variabel input dalam bagian premis dari aturan [30].
3. Lakukan implikasi fuzzy berdasarkan kuat penyulutan dan himpuna Fuzzy yang telah terdefinisi untuk semua variabel *input* di bagian konsenkuensi dari setiap aturan. Hasil dari ini kemudian digabungkan untuk menghasilkan *output* inferensi.

Ada tiga metode yang digunakan untuk inferensi sistem Fuzzy:

1. Metode *Max (Maximum)*

Metode *Max* solusi himpunan Fuzzy didapatkan dengan cara nilai tertinggi dari aturan fuzzy, kemudian nilai tertinggi tersebut digunakan kembali untuk memodifikasi daerah Fuzzy, dan dilakukan aplikasi menggunakan operator OR ke *output* sistem, maka *output* akan berisi suatu himpunan Fuzzy yang merefleksikan kontribusi setiap posisi [29].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \max(u_{sf}(x), u_{sk}(x)) \tag{20}$$

2. Metode *Additive (Sum)*

Pada metode *sum* untuk mendapatkan himpunan Fuzzy dengan melakukan *bounded-sum* ke semua daerah Fuzzy [29].

$$u_{sf}(x) \leftarrow \min(1, u_{sf}(x) + u_{kf}(x)) \tag{21}$$

3. Metode Probalistik OR (Probor)

Metode Probor untuk mendapatkan nilai himpunan Fuzzy dengan melakukan *product* ke semua daerah Fuzzy [29].

$$u_{sf}(x) \leftarrow [u_{sf}(x) + u_{kf}(x)] - [u_{sf}(x)u_{kf}(x)] \tag{22}$$

**2.2.4.5. Defuzzifikasi**

Defuzzifikasi adalah cara yang digunakan untuk mendapatkan nilai *crisp* (tegas) dari himpunan Fuzzy, defuzzifikasi merupakan penggambaran dari daerah aksi kendali Fuzzy untuk meartikan semesta pembicaraan ke daerah nonfuzzy [27]. Adapun metode untuk defuzzifikasi pada Fuzzy mamdani adalah sebagai berikut:

1. Metode *Centroid*

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

$$Z = \frac{\int_z zu(z)dz}{\int_z u(z)dz} \tag{23}$$

2. Metode *Bisector*

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

$$Z = \int_p^{q_m} u(z) dz \quad (24)$$

### 3. Metode *Min of Maximum* (MOM)

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

$$Z = \sum_{j=i}^m \frac{z_i}{m} \quad (25)$$

### 4. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

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

### 5. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

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

## 2.2.5. Identifikasi Sistem

Sistem kendali motor DC adalah sistem orde 2, identifikasi sistem pada orde 2 adalah dilakukan dengan metode identifikasi grafis. Mode identifikasi dilakukan dengan pendekatan grafis, yang mana sinyal uji diberikan kepada sistem untuk mengetahui respon *open loop* sistem. Dari sistem responnya dapat diketahui karakteristik responnya [6]. Dalam menggolongkan identifikasi karakteristik tanggapan sistem suatu sistem kontrol terhadap masukan tangga satuan, umumnya dikelompokkan sebagai berikut:

#### 1. Waktu tunda (td)

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

#### 2. Waktu naik (tr)

Waktu naik adalah waktu yang diperlukan oleh tanggapan untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95%, atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang biasa digunakan. Untuk respon atas redaman waktu biasanya digunakan 10% menjadi 90% [31].

#### 3. *Error Steady State*

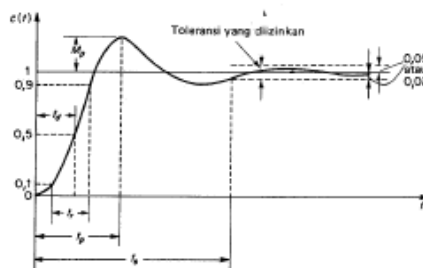
*Error steady state* adalah selisih dari nilai sistem dari kondisi stabil dengan nilai akhir sebelum mencapai kondisi stabil. Besar dari nilai *error steady state* dinyatakan dalam bentuk koefisien *error* yang ditentukan oleh *type* dan input dari sistem

4. *Maksimum overshoot* adalah nilai puncak kurva tanggapan yang diukur dari satuan. Apabila nilai akhir tanggapan lebih dari 1, maka biasa digunakan persen *overshoot maksimum* [22], yang dapat dirumuskan :

$$mp = \frac{c(tp) - c\infty}{c\infty} \quad (25)$$

5. Waktu penentuan ( $t_s$ )

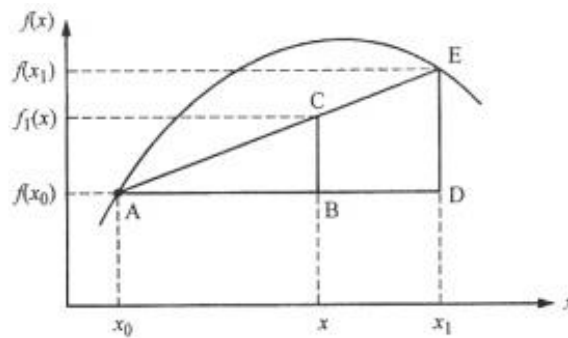
Waktu penentuan yang diperlukan sistem untuk mencapai dan menetapkan dalam daerah sekitar daerah akhir yang diukuranya ditentukan dengan persentase mutlak dari harga akhir (biasanya 2% atau 5%) [24].



Gambar 2.14. Spesifikasi Respon *Transient* [31]

### 2.2.6. Interpolasi Linear

Interpolasi adalah menentukan titik-titik antara dari  $n$  buah titik dengan menggunakan suatu fungsi pendekatan tertentu. Interpolasi linier adalah bentuk paling sederhana dari interpolasi, interpolasi linear adalah interpolasi yang menghubungkan dua garis lurus [32].



Gambar 2.15. Interpolasi Linier [32]

Dari dua segitiga tersebut dihubungkan seperti persamaan berikut:

$$\frac{BC}{AB} = \frac{DE}{AD}$$

$$\frac{f_1(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \quad (26)$$

$$f_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

Persamaan (24) merupakan rumus untuk mendapatkan interpolasi linier [ $f(x_1) - f(x_0)] / x_1 - x_0$  adalah kemiringan garis yang menghubungkan dua titik data dan perkiraan beda hingga turunan pertama. Semakin kecil interval antara titik data, hasil perkiraan akan semakin bagus [32].



## BAB III

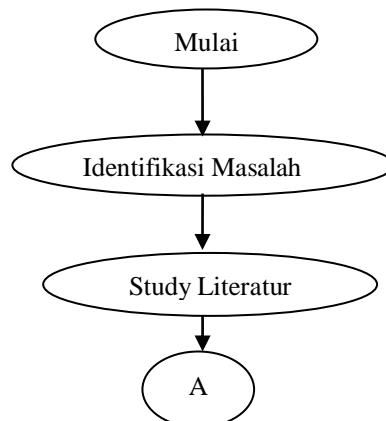
### METODOLOGI PENELITIAN

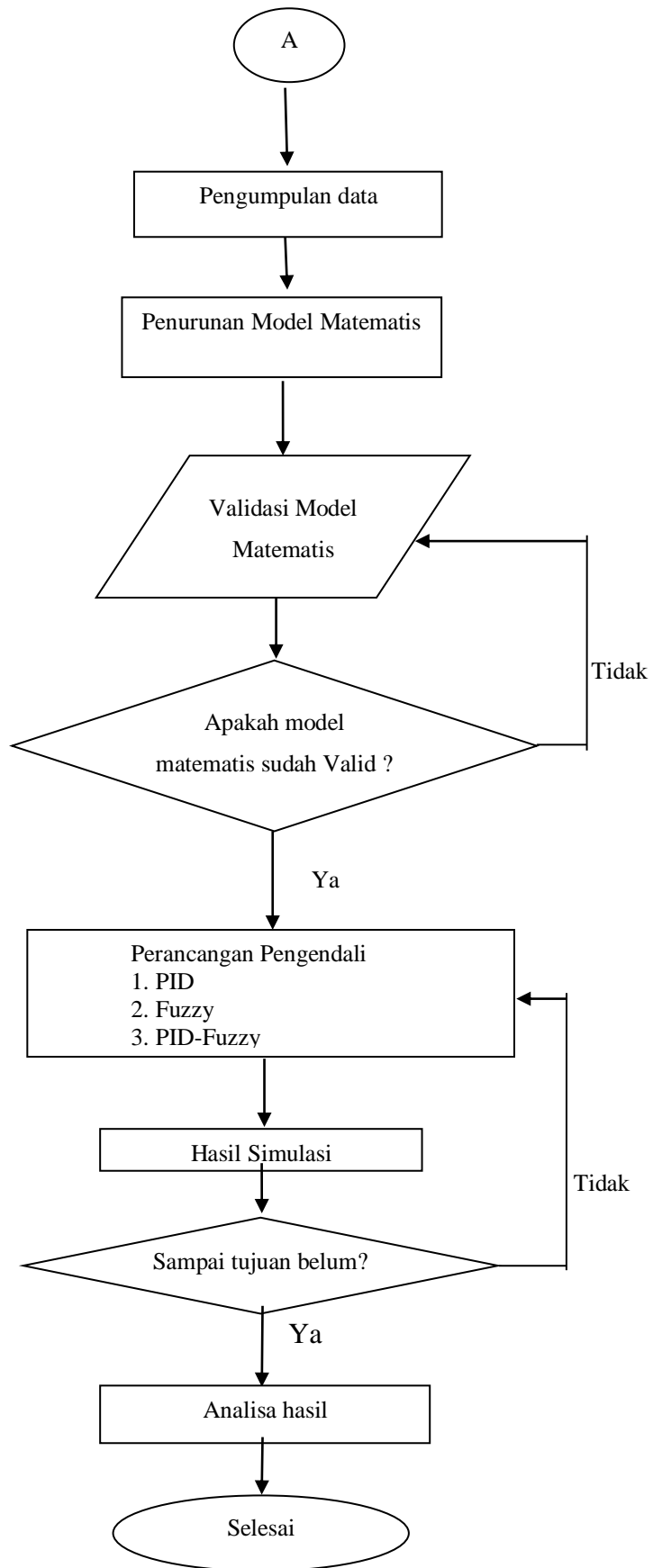
#### 3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian simulasi dengan metode kualitatif, yaitu penelitian akan menjelaskan tentang sistem dari motor DC yang dipasang pengendali PID metode Quater Decay dan Fuzzy Logic metode Mamdani untuk mengendalikan Kecepatan Motor DC, agar kecepatan putarannya tetap stabil saat mencapai *setpoint* dan penambahan sinyal pengendali. Hal pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi masalah pada sistem kecepatan motor DC, kemudian study literatur yaitu mencari informasi sistem kecepatan motor DC melalui jurnal penelitian sebelumnya, buku, *E-book*, dll, kemudian dilanjutkan dengan mengumpulkan data parameter sistem kecepatan motor DC dari jurnal, dari data yang telah didapatkan selanjutnya diturunkan kedalam bentuk model matematis, setelah itu lakukan validasi model matematis yang didapatkan dengan membandingkannya dengan model matematis yang ada di jurnal, setelah valid dilakukan dilakukan perancangan sistem kendali, pertama disimulasikan menggunakan pengendali PID pada kecepatan motor DC yang parameter PID *dituning* dengan metode Quater Decay, selanjutnya mensimulasikan *plant* kecepatan motor DC menggunakan pengendali Fuzzy Logic dengan metode mamdani, dan yang terakhir yaitu menggabungkan pengendali PID dan Fuzzy Logic pada *plant* kecepatan motor DC. Sistem yang telah ditambahkan pengendali dilakukan pengujian jika sistem mencapai nilai *setpoint* maka dilakukan analisa dan apabila tidak maka dilakukan perancangan pengendali dan memperbaiki proses *tunning*. Simulasi pada tugas akhir ini dilakukan dengan *software* Matlab.

#### 3.2. Flowchart Penelitian

Dalam Penelitian ini ada beberapa langkah yang dilakukan sebagai berikut:





Gambar 3.1. Skema *Flowchart* Penelitian

### 3.3. Tahap Penelitian

Adapun tahap penulisan dalam tugas akhir ini yaitu:

#### 1. Identifikasi Masalah

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi masalah pada kecepatan motor DC yang mana pada pengendalian awal kecepatan motor DC terdapat *overshoot* yang tinggi dan *error steady state* yang juga tinggi.

#### 2. Studi Literatur

Studi Literatur adalah merupakan penelitian yang dilakukan oleh peneliti dengan mengumpulkan informasi dari buku, jurnal, *e-book*, dll yang berkaitan dengan masalah dan tujuan penelitian. Pada studi literatur hal yang digunakan yaitu mencari referensi dari berbagai sumber yang berhubungan dengan sistem kendali kecepatan motor DC.

#### 3. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini penulis mengumpulkan data dari jurnal rujukan dan penelitian sebelumnya yang meliputi permodelan matematis dari *plant* kecepatan motor DC, seperti penentuan parameter dari tahanan belitan armatur, impedansi belitan armatur, arus armatur, tegangan induksi, konstanta dimensi motor, momen inersia motor, konstanta redaman sistem mekanik.

#### 4. Penurunan Model Matematis

Pada penelitian ini yaitu menurunkan model matematis berdasarkan persamaan yang ada pada *plant* kecepatan motor DC setelah itu data parameter yang didapatkan sebelumnya kemudian di substitusikan ke model matematis kecepatan motor DC

#### 5. Validasi model matematis

Validasi yaitu pengesahan atau pengujian kebenaran akan sesuatu, jadi validasi model matematis yaitu pengujian model matematis yang didapatkan pada penelitian ini dengan jurnal dan sumber yang ada. Ini dapat dilakukan dengan menurunkan model matematisnya dan melakukan perhitungan agar hasil sesuai dengan jurnal.

#### 6. Rancangan pengendali

Pada perancangan pengendali pertama dilakukan simulasi kecepatan motor DC dengan pengendali PID dengan metode Quarter Decay, selanjutnya simulasi kecepatan motor DC dengan pengendali Fuzzy dengan metode Mamdani, dan yang terakhir yaitu menggabungkan dua pengendali tersebut ke *plant* kecepatan motor DC.

## 7. Analisa Hasil

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

## 8. Kesimpulan

Setelah semua tahap telah dilakukan dan tujuan dari hasil telah terpenuhi maka dilakukan penarikan kesimpulan guna merangkum semua gagasan yang telah diteliti.

### 3.4. Pengumpulan Data

Agar dapat memodelkan *plant* motor DC , maka dilakukan pengumpulan data pra-desain yang dimasukkan ke model matematis motor DC, adapun nilai parameter yang dipakai dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3.1 Nilai parameter dari motor DC [20]

Parameter	Nilai	Satuan
R	0.5	$\Omega$
L	1	Mh
$K_t$	0.008	NmA-1
$K_b$	0.001	V rad-1
J	0.001	$Kgm^2$
B	0.010	Nm rads-1
V(s)	240	Volt

#### Keterangan:

V = Tegangan armatur

$i_a$  = Arus armatur

L = Induktansi armatur

R = Resistansi armatur

E = *Back emf*

T = Torsi motor

$\omega$  = Kecepatan sudut motor

J = Momen inersia

B = Koefisien gesekan viskos

$K_b$  = Konstanta back emf

$K_t$  = Konstanta torsi

### 3.5. Pemodelan Matematis

Data-data parameter kecepatan motor DC yang telah didapatkan sebelumnya disubstitusikan ke model matematis yang diturunkan pada persamaan (10) sehingga *plant* dapat kita substitusikan. Berdasarkan model matematis pada persamaan (10) maka didapatkan *plant* kecepatan motor DC sebagai berikut:

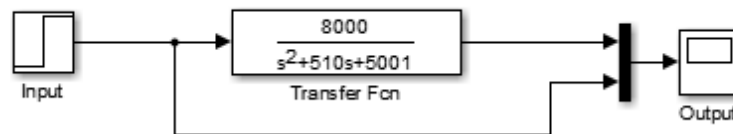
$$\frac{\omega_m(s)}{V_s(s)} = \frac{\frac{K_t}{JL}}{s^2 + s \frac{JR_a + L_a B}{JL_a} + \frac{BR_a + K_t K_b}{JL_a}}$$

$$\frac{\omega_m(s)}{V_s(s)} = \frac{\frac{0.008}{0.001(0.001)}}{s^2 + s \frac{0.001(0.5) + 0.001(0,01)}{0.001(0.001)} + \frac{0.01(0.5) + 0.008(0.001)}{0.001(0.001)}}$$

$$\frac{\omega_m(s)}{V_s(s)} = \frac{8000}{s^2 + s510 + 5001}$$

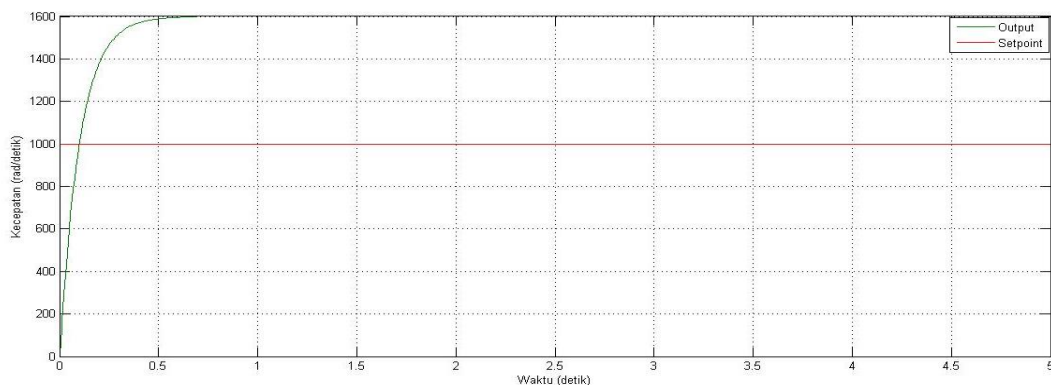
### 3.6. Validasi Model Matematis

Untuk memvalidasi model matematis maka dilakukan perbandingan persamaan matematis kecepatan motor DC yang diturunkan oleh penulis dengan penelitian B.M Patre Dkk, berdasarkan *plant* kecepatan motor DC yang memiliki daya tinggi untuk menghasilkan Tegangan besar dan jenis motor DC yang digunakan adalah jenis motor DC seri. Adapun Pengujian *plant* kecepatan motor DC dilakukan simulasi secara *open loop* dengan menggunakan *simulink* Matlab, untuk harga *setpoint* penulis menetapkan 1000 rad/s, maka rangkaian *open loop* dapat di susun sebagai berikut:



Gambar 3.2. Rangkaian *Open Loop Plant*

Maka respon *transient plant* dibawah ini:

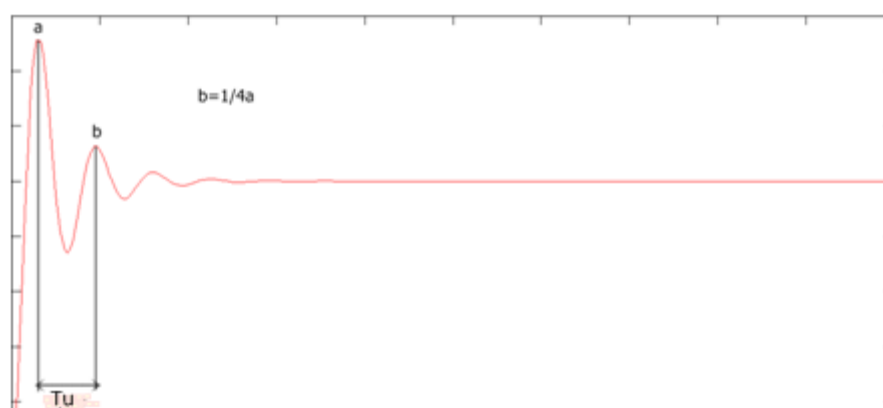


Gambar 3.3 Respon Sistem *Plant* Secara *Open Loop*

Dari respon Sistem *plant* kecepatan motor DC diatas dapat dilihat bahwa *plant* tidak mengalami osilasi sehingga dapat dinyatakan bahwa sistem tersebut adalah sistem yang stabil. *Overshoot* juga tidak ada pada sistem tersebut tapi *outputnya* melebihi nilai *setpoint* yang diberikan. Dilihat dari tabel *workspaceny* nilai *steady state* dari sistem adalah 1,573 rad/s dengan waktu 0,410 detik. Jadi sistem kecepatan motor DC adalah sistem yang *overdamped*.

### 3.7. Perancangan Pengendali PID Quarter Decay

Dalam perancangan sistem kendali PID dibutuh model matematis dari *plant* motor DC adapun untuk mendapat nilai PID-nya penulis menggunakan metode Quarter Decay. Metode Quarter Decay memperbaiki metode Ziegler Nichlos 2 (metode osilasi) karena tidak semua sistem dapat mentolerir osilasi. Adapun nilai parameter dari PID-nya didapatkan dari respon sistem berosilasi yang mana osilasi kedua adalah  $\frac{1}{4}$  dari osilasi pertama. Respon yang dimaksud dapat dilihat sebagai berikut:

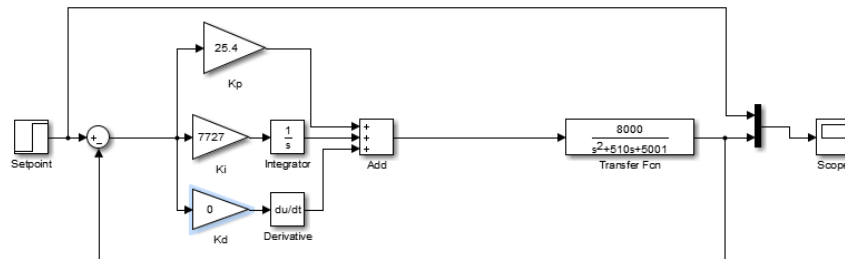


Gambar 3.4 Kurva Respon Quarter Decay [25]

Langkah awal yang dilakukan dalam proses *tunning* metode Quarter Decay yaitu kita harus menentukan nilai dari  $K_{pu}$  dan  $T_u$ -nya.  $T_u$  adalah nilai dari periode osilasinya

dan  $K_{pu}$  adalah nilai proposional penguat sehingga sistem mengalami osilasi setelah itu baru bisa kita mendapat nilai parameter PID-nya. Adapun uraian langkah proses *tunning* metode ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan rumus yang telah disebutkan tabel 2.1. nilai  $K_i = \sim$ , dan  $K_d = 0$ , penulis memberikan untuk nilai  $K_i$ -nya 7727 dan nilai  $K_d$ -nya kita buat 0, selanjutnaikkan secara bertahap nilai proposionalnya sehingga mendapatkan  $\frac{1}{4}$  osilasi untuk mendapatkan nilai  $K_{pu}$ . Adapun rangkainnya sebagai berikut:



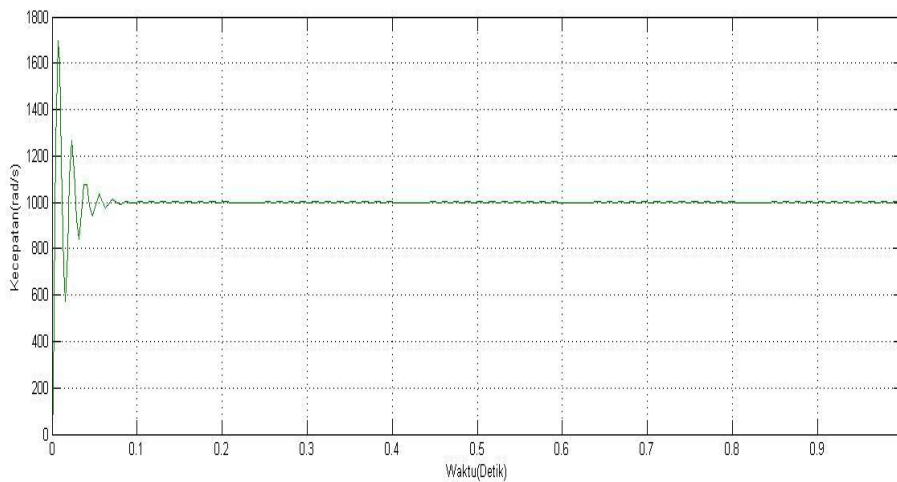
Gambar 3.5 Rangkain Parameter Proposional

Penulis mengatur nilai proposionalnya dengan menambahkan setiap 5 konstanta proposional, pada saat nilai proposional sebesar 25 hampir mendapatkan  $\frac{1}{4}$  osilasi, selanjutnya penulis menambahkan konstanta proposional 0.2 secara bertahap sehingga  $\frac{1}{4}$  osilasi di dapatkan pada saat nilai proposional sebesar 25.4, maka nilai  $K_{pu} = 25.4$ . berikut tabel proses mendapatkan nilai  $K_{pu}$  :

Tabel 3.2. Proses mendapatkan nilai  $\frac{1}{4}$  Osilasi

Nilai Proposional	Osilasi Pertama	Osilasi Kedua	$\frac{1}{4}$ osilasi pertama
5	-	-	Sistem error
10	-	-	Sistem error
15	1951	1748	487.7
20	1829	868	457.2
25	1707	448	426.7
25.2	1702	438	425.5
<b>25.4</b>	<b>1697</b>	<b>426</b>	<b>424.2</b>
25.	1693	416	423.2
25.8	1688	406	422

Adapun respon sistem pada saat nilai Proposional = 25.4 sebagai berikut:



Gambar 3.6 Respon 1/4 Osilasi Quarter Decay

2. Setelah mendapatkan nilai  $K_{pu}$  maka kita dapat menentukan nilai  $T_u$ , adapun periode osilasi dari osilasi pertama dan osilasi kedua adalah 0.044 detik sehingga  $T_u = 0.044$
3. Setelah nilai  $K_{pu}$  dan  $T_u$  ditentukan selanjutnya lakukan *tuning* parameter Kp, Ki, dan Kd menggunakan rumus yang ada pada tabel 2.1, persamaan (13) dan (15). Selengkapnya proses perhitungan parameter PID menggunakan metode Quarter Decay sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Kp &= 0.6(K_{pu}) \\
 &= 0.6(25.4) \\
 &= 15.24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ti &= 0.5(T_u) \\
 &= 0.5(0.044) \\
 &= 0.022
 \end{aligned}$$

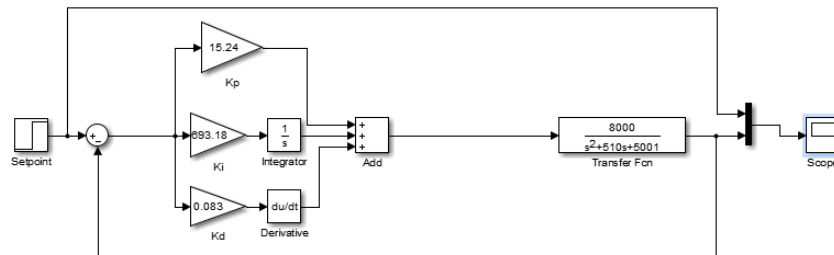
$$\begin{aligned}
 Ki &= \frac{Kp}{Ti} \\
 &= \frac{15.24}{0.022} \\
 &= 693.18
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Td &= 0.125(T_u) \\
 &= 0.125(0.044) \\
 &= 0.055
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Kd &= Kp(Td) \\
 &= 15.24(0.055) \\
 &= 0.83
 \end{aligned}$$

4. Masukkan nilai Parameter Kp, Ki, dan Kd kedalam rangkain sistem kendali PID dengan *plant* kecepatan motor DC.



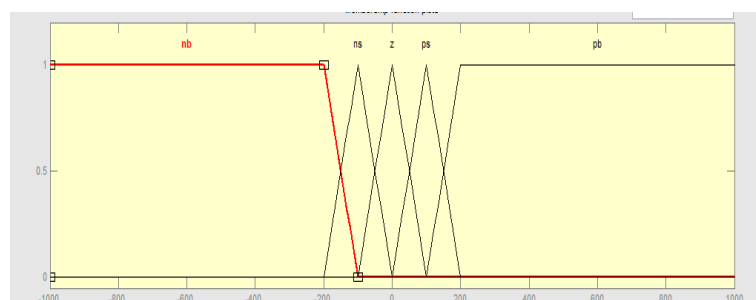


Gambar 3.7 Rangkain Sistem Kendali PID

### 3.8. Perancangan Pengendali Fuzzy Mamdani

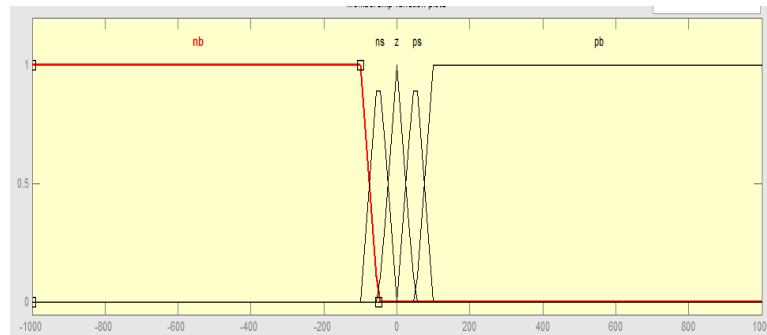
Metode Mamdani adalah metode yang paling banyak digunakan pada dalam literatur [11]. Penulis menggunakan *rule base* 5X5 untuk sistem inferensi fuzzynya maka terdapat 5 himpunan fuzzy pada input dan outputnya yaitu nb (*negatif big*), ns (*negatif small*), z (*zero*), ps (*positif small*), pb (*positif big*). Semakin banyak partisipasi dari himpunan fuzzy pada ruang *input* dan *output* menghasilkan pendekatan yang baik terhadap sistem atau proses [27]. Variabel *input* dan *output* fuzzy penulis menggunakan 2 *input* yaitu *error* dan *derror* dan satu *output*, untuk fungsi keanggotaan penulis menggunakan bentuk segitiga (*triangle*) dan trapesium (*trapezium*), penggunaan jenis trapesium adalah untuk mencari nilai rata kiri dan rata kanan, penggunaan jenis segitiga untuk menentukan nilai tengahnya. Adapun tahap perancangannya dapat dilihat sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi, perancangan fuzzifikasi dalam pemodelan ini, adapun pada *input error* didefinisikan berdasarkan *setpoint* yang diberikan pada *plant* [33], maka penulis menggunakan *error* dengan *range* [-1000 1000] dan untuk *delta error* dengan *range* [-1000 1000] karena *plant* adalah sistem stabil maka *error* sekarang dan *error* sebelum bernilai sama, untuk *outputnya* dengan *range* [-1000 1000] berdasarkan keluaran *setpoint* yang akan diberikan pada *plant*, berikut adalah fuzzifikasi dari perancangan fuzzy pada penelitian ini:



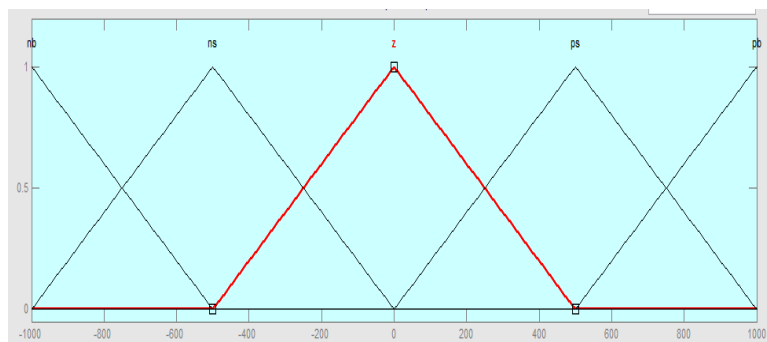
Gambar 3.8. Fungsi Keanggotaan Error

Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan *error* yang mana penulis menggunakan fungsi keanggotaan yang sempit yang bertujuan untuk menghasilkan *rise time* yang lebih cepat akan tetapi apabila terlalu sempit membuat sistem berosilasi [27]. Fungsi keanggotaan nb dan pb berbentuk trapesium yang terletak pada rentang [-1000 -1000 200 0] dan [0 200 1000 1000], fungsi keanggotaan ns, z, dan ps berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-200 -100 0], [- 100 0 100], dan [0 100 200].



Gambar 3.9. Fungsi keanggotaan *Derror*

Gambar diatas merupakan fungsi keanggotaan *derror* yang mana penulis menggunakan fungsi keanggotaan yang lebih sempit dari error karena di fungsi keanggotaan *derror* tidak terlalu sempit maka pada *derror* bisa dipersempit lagi tujuannya untuk mempercepat *rise time* dan *error steady state* yang lebih kecil [27]. Fungsi keanggotaan nb dan pb berbentuk trapesium yang terletak pada rentang [-1000 -1000 200 0] dan [0 200 1000 1000], fungsi keanggotaan ns, z, dan ps berbentuk segitiga yang terletak pada rentang [-200 -100 0], [- 100 0 100], dan [0 100 200].



Gambar 3.10. Fungsi Keanggotaan *Output*

Penentuan fungsi keanggotaan output merupakan prioritas yang pertama dari sistem Fuzzy karena memiliki pengaruh yang besar dalam hal stabilitas dan osilasi sistem [27], maka penulis menggunakan fungsi keanggotaan pada umumnya yaitu mengambil di titik *crossover* 0.5 [27] mengambil nilai tengah bertujuan agar sistem lebih stabil. Adapun semua fungsi keanggotaannya berbentuk segitiga untuk nb direntang [-1000 -

1000 500], ns direntang [-1000 -500 0], z direntang [-500 0 500], ps direntang [0 500 1000], dan pb direntang [500 1000 1000].

2. *Rule Base*, untuk mengetahui derajat keanggotaan maka dilakukan basis aturan dari sistem Fuzzy tersebut, dalam penelitian ini penulis menggunakan pendekatan heuristik untuk menentukan *rule base*-nya. Pendekatan heuristik adalah pendekatan yang membangun *rule base* berdasarkan pengeksplorasian pengetahuan pakar dan analisa perilaku sistem pendekatan ini perilaku sistemnya berdasarkan pengetahuan sistem secara kualitatif [27], adapun *rule base* yang penulis buat adalah:

*if (error is nb) and (Derror is nb) then (output is nb)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

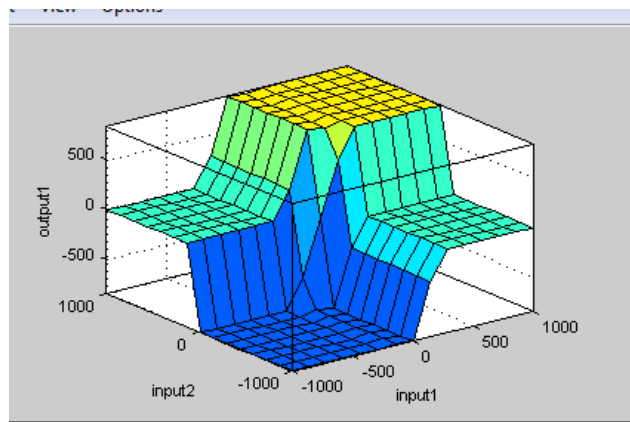
*if (error is pb) and (Derror is z) then (output is pb)*

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

Tabel 3.3. Rule Base Fuzzy

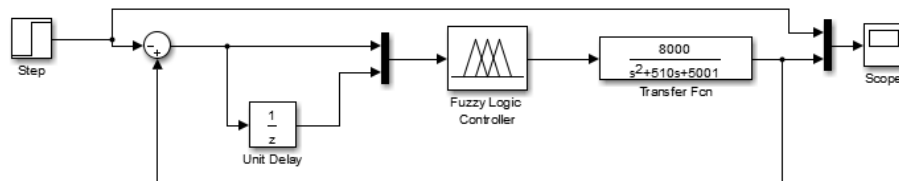
<i>Error</i> \ <i>Derror</i>	nb	ns	Z	Ps	pb
nb	nb	nb	Nb	Ns	z
ns	nb	nb	Ns	Z	ps
z	nb	ns	Z	Ps	pb
ps	ns	Z	Ps	Pb	pb
pb	z	ps	Pb	Pb	Pb

Gambar untuk *surface* dari *rule base* Fuzzy diatas:



Gambar 3.1 *Viewer Surface* Pengendali Fuzzy

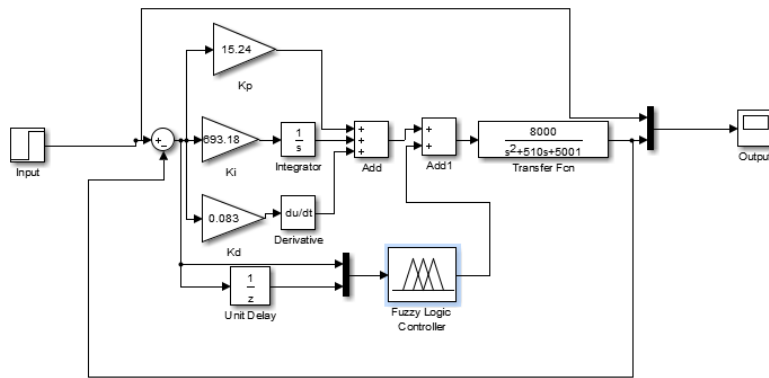
- Defuzzifikasi, pada penelitian ini penulis menggunakan metode *Centroid*, karena dari beberapa metode defuzzifikasi metode ini lebih cocok digunakan untuk *Plant* kecepatan motor DC.
- Rangkaian untuk sistem kendali fuzzy dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3.12. Rangkaian Sistem Kendali Fuzzy

### 3.9. Perancangan pengendali Hybrid PID-Fuzzy Logic

Setelah didapatkan pengendali PID dengan metode *tunning* Quater Decay dan pengendali Fuzzy *logic* dengan metode Mamdani kemudian untuk merancang sistem kendali Hybrid yaitu menggabungkan kedua pengendali tersebut dan dihubungkan ke *plant* kecepatan motor DC. Adapun rangkainnya sebagai berikut:



Gambar 3.13. Rangkaian Sistem Kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa respon sistem kecepatan motor DC dapat ditarik kesimpulan :

1. Pengaruh penggunaan metode Quarter Decay di pengendali PID pada kecepatan motor DC menghasilkan respon sistem yang stabil memiliki *rise time* yang cepat dan sesuai dengan *setpoint* akan tetapi metode ini menghasilkan *overshoot* besar yaitu 14.85% dan terjadi *error steady state* sebesar 0.17 rad/s.
2. Sistem kecepatan motor DC dengan pengendali PID menghasilkan *rise time* yang cepat akan tetapi menghasilkan *overshoot* dan *error steady state* yang besar , pengendali Fuzzy Logic memiliki sistem yang tidak mencapai *setpoint* yang diberikan dan *rise time* yang lambat, akan tetapi sistem tidak mengalami *overshoot* dan *error steady state*nya lebih kecil dari pengendali PID, sedangkan Hybrid PID dan Fuzzy Logic memiliki respon yang paling bagus dengan *overshoot* yang lebih kecil dan tanpa adanya *error steady state* walaupun *rise time* sistem sedikit lebih lambat dari pengendali PID. Pada penambahan beban 10% Pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic memiliki kekokohan lebih baik karena memiliki lonjakan *overshoot* yang paling kecil daripada pengendali PID di detik ke 0.4 dan 0.7 sedangkan pengendali Fuzzy diberi gangguan keadaan *steady state*nya berubah.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka untuk penelitian selanjutnya bisa dicoba untuk Menggunakan metode *tunning* yang lain seperti Ziegler Nichlos, Tyrus-Luyben, *Auto-Tunning* dan lain-lain pada Pengendali PID. Kemudian pada penelitian ini pengendali diujikan hanya pada sistem orde dua. Maka untuk selanjutnya bisa dilakukan pengujian pada sistem yang lebih banyak dan bervariasi. Juga peneliti menggunakan metode Mamdani pada pengendali Fuzzy Logic, sehingga untuk penelitian selanjutnya mungkin bisa dicobakan menggunakan metode Sugeno, Kang, Tsukamoto atau sebagainya. Dan juga penelitian selanjut bisa dilakukan dengan menggabungkan pengendali PID Quarter Decay dengan kendali yang lain seperti LQR, LQG, SMC, dan lain-lain agar dilakukan perbandingan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gubara, Walaa. Elnaim, Mohamed. Babiker. Sharief F., "*Comparative Study on the Speed of DC Motor using PID and FLC*," IEEE Journal, pp. 24-29, 2016.
- [2] Satya,Kumara I N. "*Modeling Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Simulink*," Teknik Elektro Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbara Bali, vol. 6, 2007.
- [3] Khana ,A. Kumar, A., "*Speed Control of DC Motor Be Colony Optimization Techique*," Universal Journal of Electrical and Electronik Engineering, 2013.
- [4] Syafriadi, Riki., "*Perbandingan pengaturan Kecepatan Motor DC Shunt Menggunakan Metode Sliding Mode Control (SMC) dan Successive Sliding Mode Control (SSMC)*," Pekanbaru: Teknik elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau, 2015.
- [5] Yusnaini, Arifin., Ardi, Amir., "*Pemodelan dan Pengendalian Motor DC Menggunakan Simulasi Matlab*," Majalah Ilmiah (Mektek), vol. 3, pp. 131-137, Mei 2010.
- [6] Adril," *Analisa Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Pengendali Hybrid SMC dan PID Metode Heuristik*. Pekanbaru: Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau, 2016.
- [7] Setiawan , Iwan., *Kontrol PID untuk Industri.*, 2008.
- [8] Depenbrok ,M., "*on Power Elecronics 3*," *IEEE Trans*, vol. 420, 1988.
- [9] Adrian. Adha, Umam Samiadji., "*Sistem Kendali PID Adaptif untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC Berbasis PLC*," Universitas Gadjad Madha, 2014.
- [10] Bachri, H. Samsul., "*Sistem Kendali Hybrid PID-Logika Fuzzy pada Pengaturan Kecepatan Motor DC*," *Teknologi Makara*, vol. 8, pp. 25-34, 2004.
- [11] Maulana, Ginda., *Analisis Perbandingan pengendali logika Fuzzy Metode Sugeno dan Mamdani dengan Variasi Rule Base Untuk Pengendalian Motor DC*", Pekanbaru: Teknik elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau, 2016.
- [12] Faizal, Ahmad. Khalis, Junalisman Abidin., "*Analisis Sistem Kendali PID- Fuzzy dalam Menjaga Keseimbangan Pendulum pada Sistem Rotary Inverter Pendulum Berdasarkan Time Response*", *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 13, no. 2, pp. 241-248, Juni 2016.

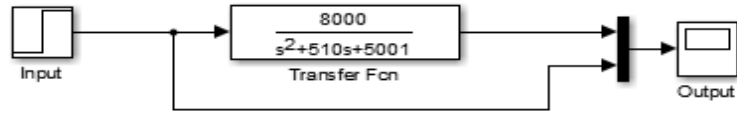
- [13] Hermanto, "Analisis Perbandingan Performansi Metode Tuning PID untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC Berdasarkan Time Response", Pekanbaru, Indonesia: Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau, 2016.
- [14] Rosalina, Qosim, Ibnu. Mujiruddin, Mohammad., "Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan PID," Universitas Muhammadiyah Prof DR. Hamka, vol. 2, pp. 89-94, 2017.
- [15] Supriyono, Heru. Roosyid, Rochmad., "Implementasi Pengendalian Kecepatan Motor DC dengan Pengendali Fuzzy-PID Menggunakan Real Time Windows Target Matlab 6.5", Surakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, 2008.
- [16] Petruzella, Frank D., *Elektronik Industri*, Drs. Sumanto MA., Ed. Yogyakarta, Indonesia: Andi Yogyakarta, 2001.
- [17] Corporation, Rodwell International., *Basic Motor Theory On: Reliance Electric Motor Technical Reference home page.:* [www.reliance.com/mtr/mtrthr.htm](http://www.reliance.com/mtr/mtrthr.htm), 1999.
- [18] Bagia, I Nyoman. Parsa, I Made., *Motor- Motor Listrik*, 1st ed., Damianus Manesi, Ed. Kupang, Indonesia: CV. Rasi Terbit, 2018.
- [19] Syamsuar, Sayuti. Wibawaningrum, Rizki. Makarim, Hariyanti., "Cara Kerja dan Penggunaan Motor Direct Current (DC) Pada Kapal Selam" vol. 23, pp. 509-523, Mei 2011.
- [20] Patre, B. M., Panchade, V. M. Nagarale, Ravindrakumar M., "Sliding Mode Control DC Drives" [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com), 2011.
- [21] Fitzgerald, A. E. Higginbotham, E. David, Dkk., *Dasar-Dasar Elektroteknik*, 5th ed. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1981.
- [22] Bolton, W., *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*. Jakarta: Erlangga, 2006.
- [23] Triyono, "Aplikasi Kontrol PID dengan Software Matlab," *Jurnal Teknik*, vol. 1, 2015.
- [24] Ogata, K., *Modern Control Engineering*. New Jersey: Prentice Hal, 2010, vol. 5th Edition.
- [25] Broto, Wisnu. Ane, Prasetyowati R., "Sistem Boiler dengan simulasi pemodelan PID", Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015, vol. IV, pp. 45-49, November 2015.



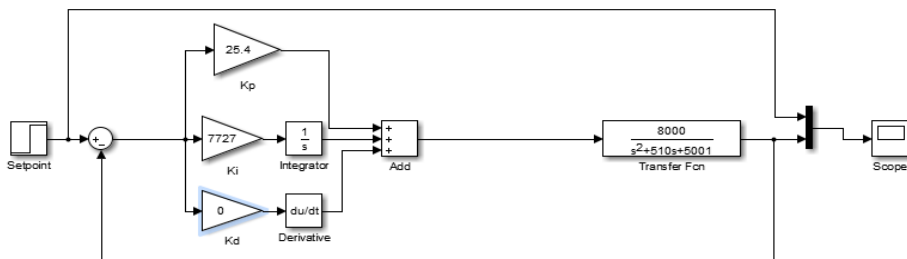
- [26] Gunterus, Frans., *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta, Indonesia: PT. Elex Media Komputindo, 1994.
- [27] Dwi Ana Ratna Wati, *Sistem Kendali Cerdas*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [28] Setiawan, Agung, Yanto, Budi. Yasdomi, Kiki., *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. Bali, Indonesia: Jayapangus Press, 2018.
- [29] Kusumadewi, Sri., *Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Edisi Pertama ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2002.
- [30] Widodo, Thomas Sri., *Sistem Neuro Fuzzy*, Edisi Pertama ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2005.
- [31] Ogata, Katsuhiko., *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Erlangga, 1996.
- [32] Triatmodjo, Bambang., *Metode Numerik*. Yogyakarta, Indonesia: Beta Offset, 2010.

## LAMPIRAN A

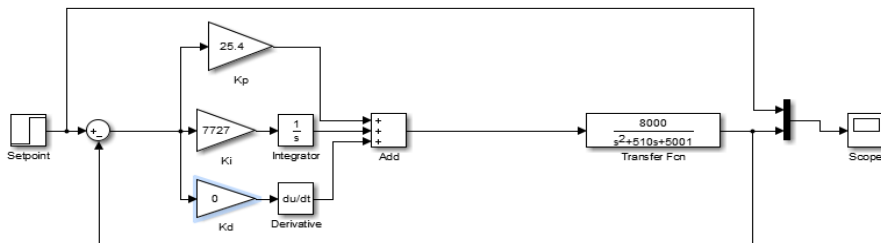
### 1. Rangkaian Simulink Open Loop Kecepatan Motor DC



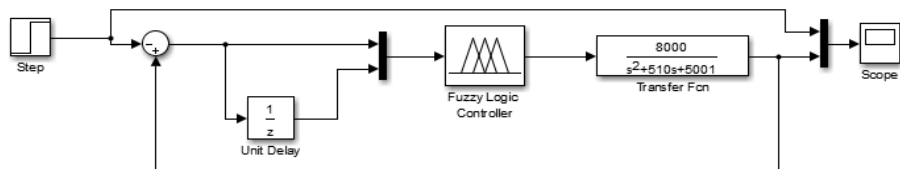
### 2. Rangkaian Simulink Mendapatkan ¼ Osilasi



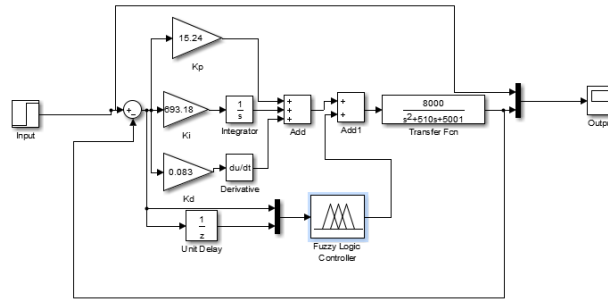
### 3. Rangkaian Simulink Pengendali PID



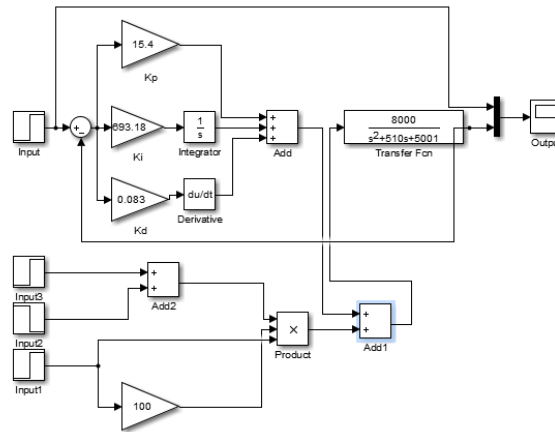
### 4. Rangkaian Simulink Pengendali Fuzzy Logic



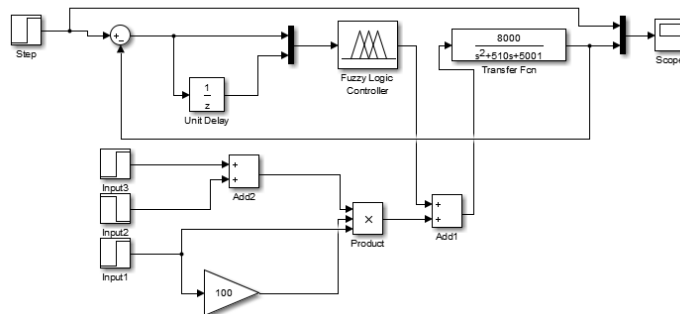
### 5. Rangkaian Simulink Pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic



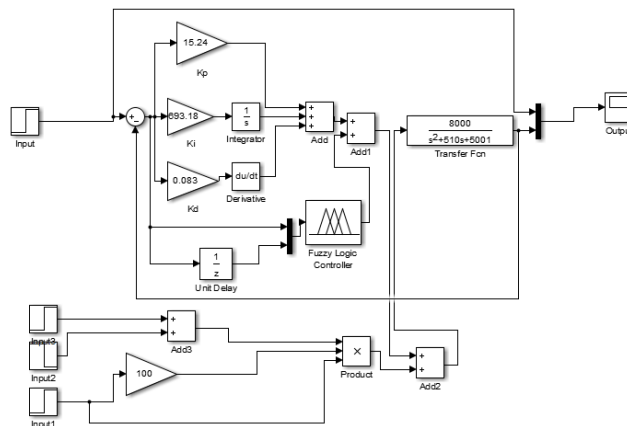
## 6. Rangkain Simulink Pengendali PID dengan Gangguan



## 7. Rangkain Simulink Pengendali Fuzzy Logic dengan Gangguan

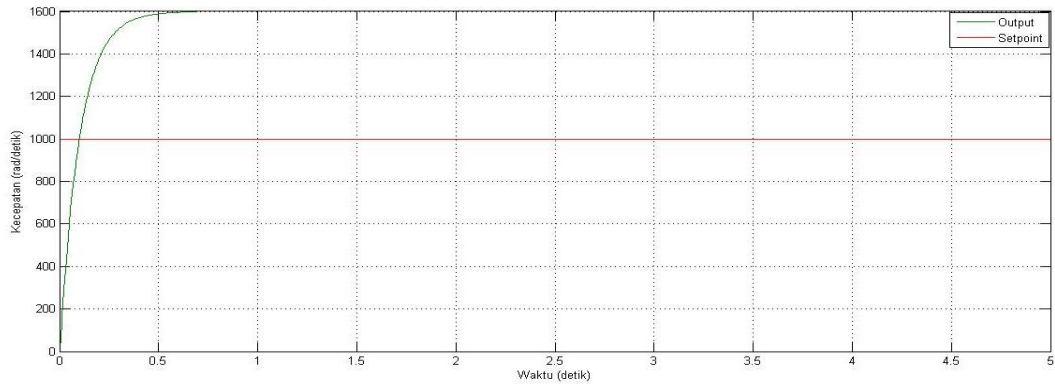


## 8. Rangkain Simulink Pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic dengan Gangguan

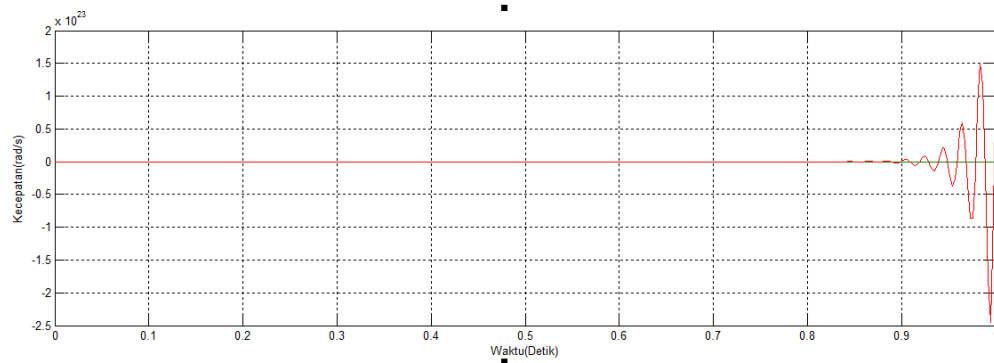


## LAMPIRAN B

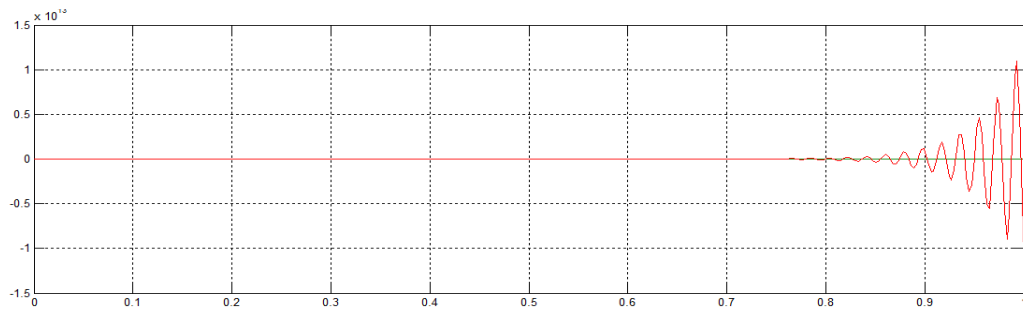
### 1. Hasil Simulasi Open Loop motor DC



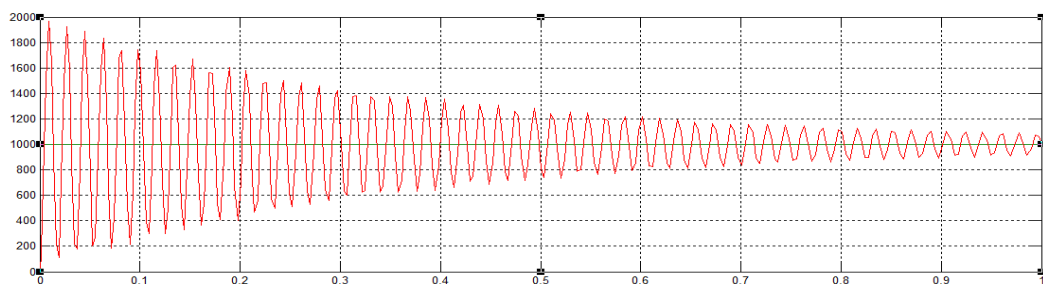
### 2. Hasil Simulasi dengan Nilai Proposional = 5



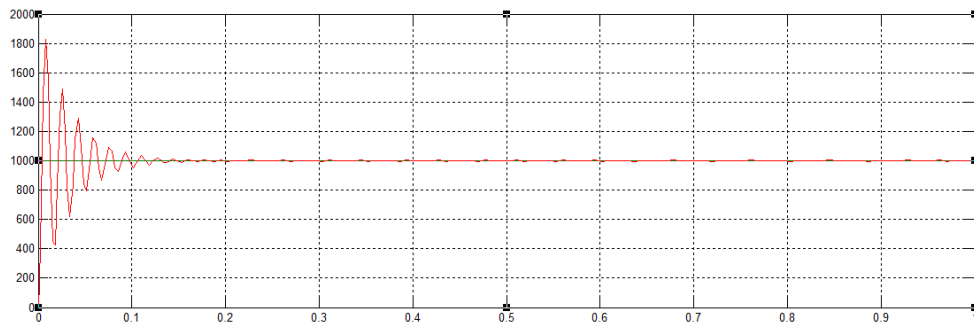
### 3. Hasil Simulasi dengan Nilai Proposional = 10



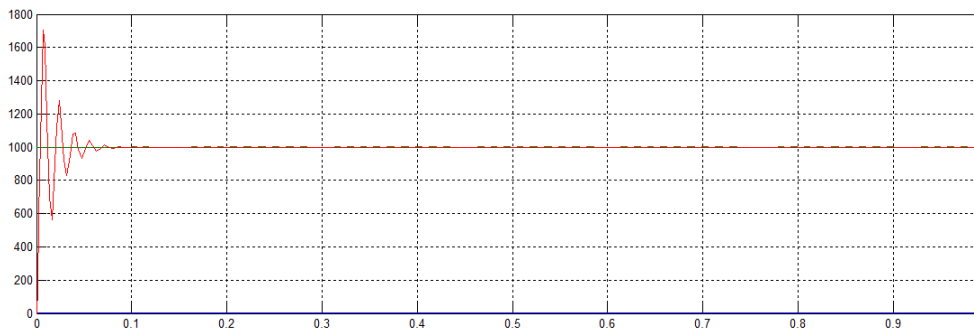
### 4. Hasil Simulasi dengan Nilai Proposional = 15



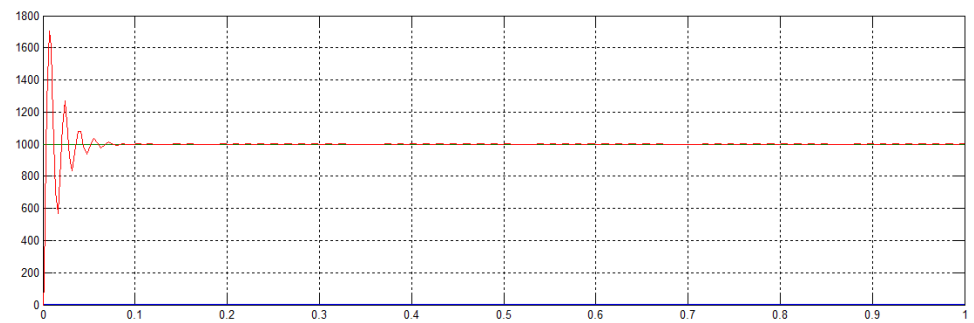
5. Hasil Simulasi dengan Nilai Proposional = 20



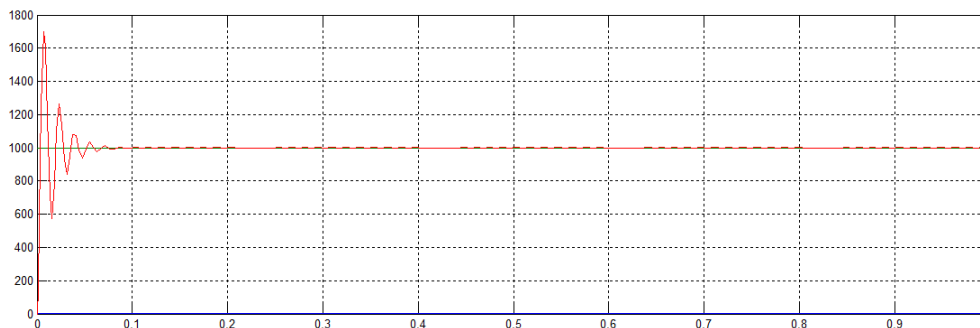
6. Hasil Simulasi dengan Nilai Proposional = 25



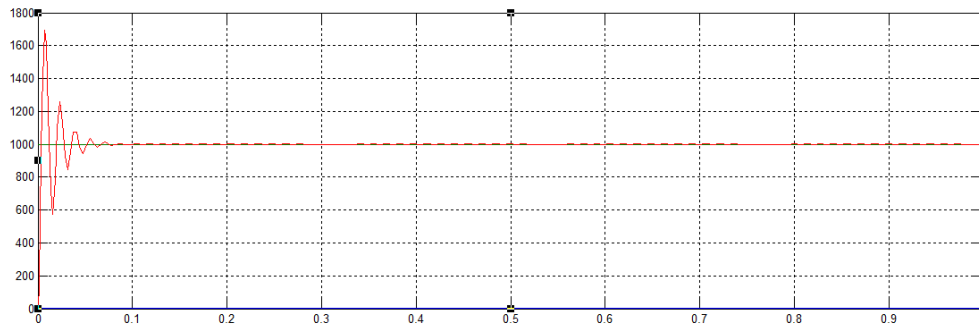
7. Hasil Simulasi dengan Nilai Proposional = 25.2



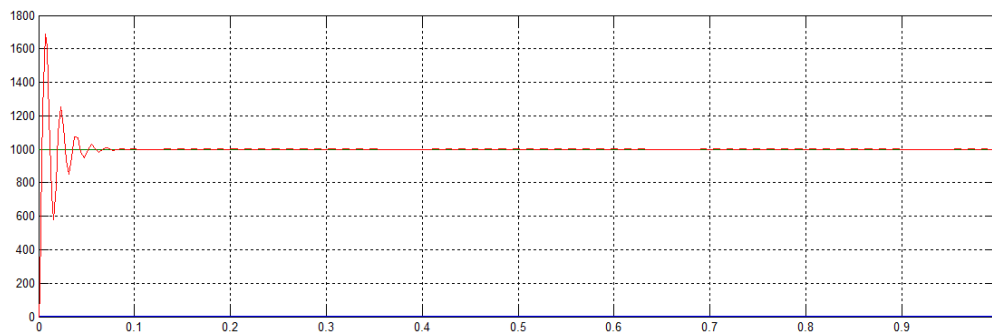
8. Hasil Simulasi dengan Nilai Proposional = 25.4



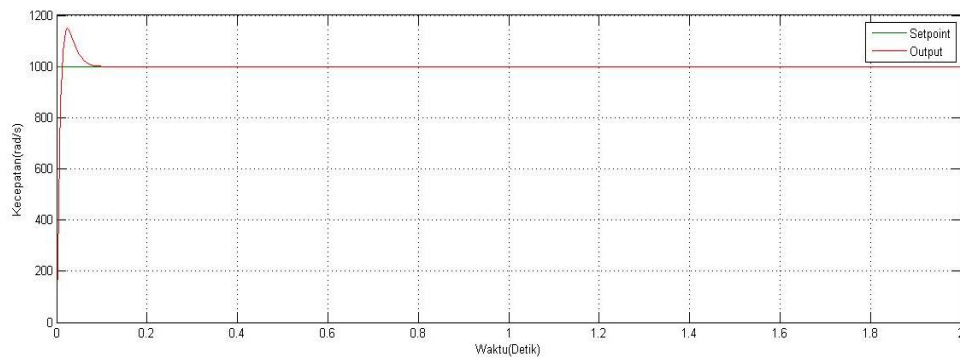
9. Hasil Simulasi dengan Nilai Proporsional = 25.6



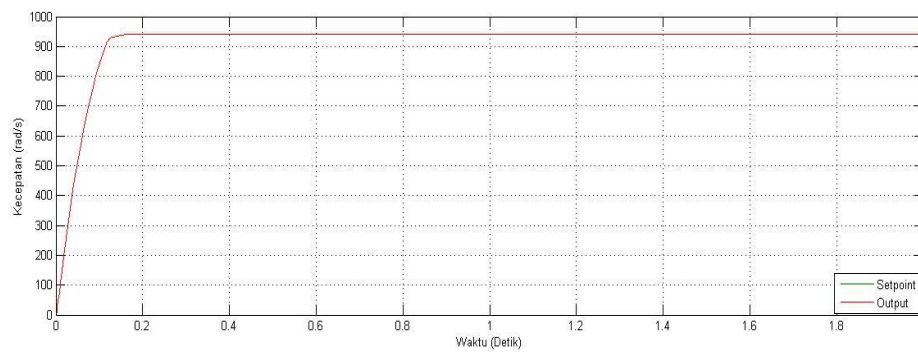
10. Hasil Simulasi dengan Nilai Proporsional = 25.8



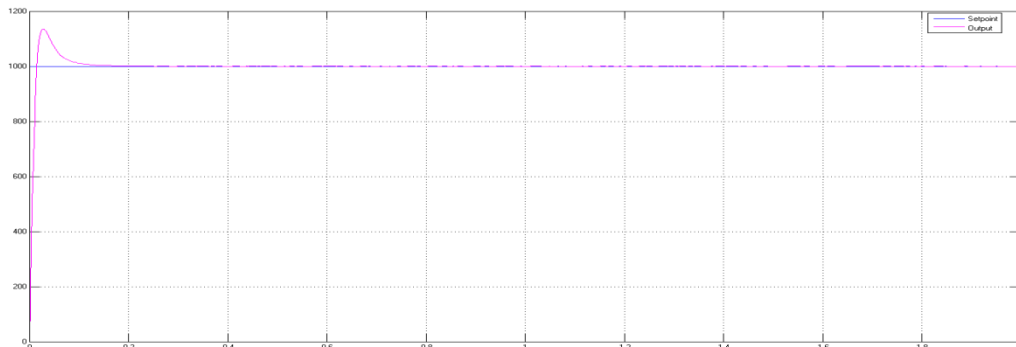
11. Hasil Simulasi Pengendali PID Quarter Decay Kecepatan Motor DC



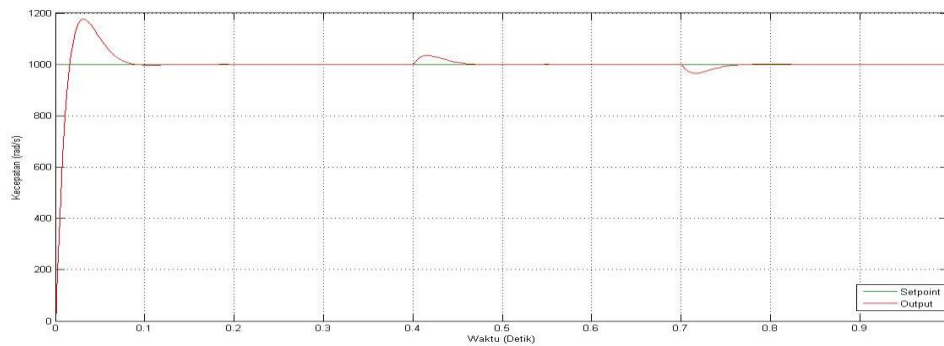
12. Hasil Simulasi Pengendali Fuzzy Logic Kecepatan Motor DC



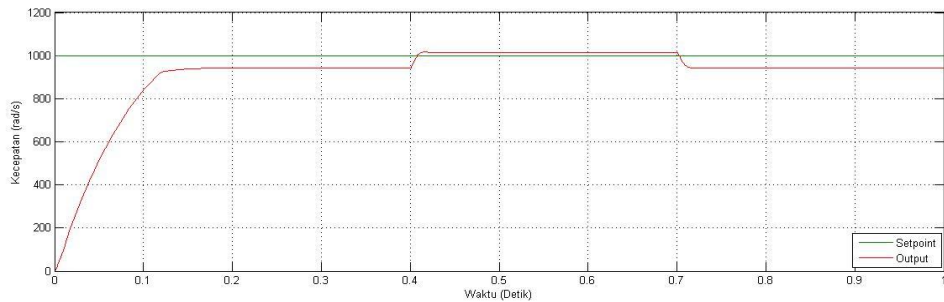
13. Hasil Simulasi Pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic Kecepatan Motor DC



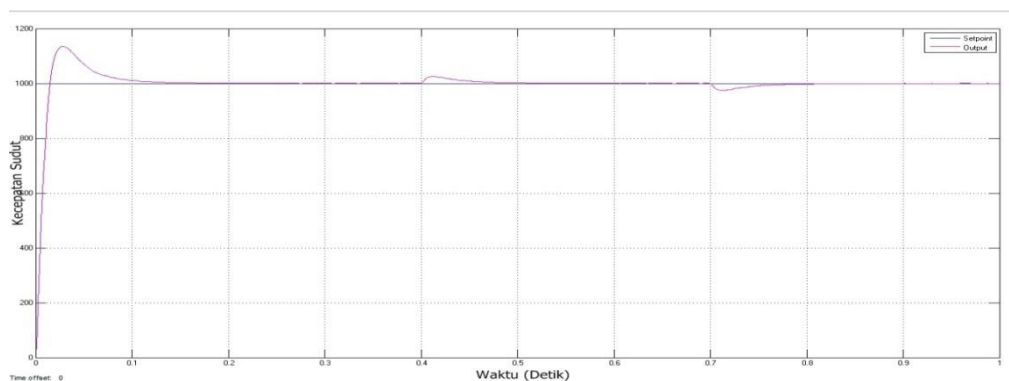
14. Hasil Simulasi Pengendali PID Quarter Decay Kecepatan Motor DC Dengan Gangguan



15. Hasil Simulasi Pengendali Fuzzy Logic Kecepatan Motor DC Dengan Gangguan



16. Hasil Simulasi Pengendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic Kecepatan Motor DC Dengan Gangguan



## BIOGRAFI



Nama penulis Eddy darmawan, penulis lahir di Air Tiris Kecamatan Kampar Kabupaten Kampar, Penulis merupakan anak keempat dari enam bersaudara, penulis memiliki dua kakak laki-laki, 1 kakak perempuan, dan 1 adik laki-laki dan perempuan, Ibu penulis bernama Ermida yang merupakan seorang wiraswasta dan ayah penulis bernama Azmi Ali yang sudah meninggal 10 tahun lalu. Adapun jenjang pendidikan penulis dimulai dari SD 001 Air Tiris yang mana di tahun 2004 sampai 2010, kemudian melanjutkan studi tingkat SMP di pondok pesantren As- Salam Naga beralih Kampar Utara yang lulus ditahun 2013, kemudian melanjutkan di MAN Kampar yang lulus di tahun 2016, lulus dari MAN Kampar melanjutkan ke UIN Suska dengan program studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi yang Alhamdulillah Lulus di tahun 2020

Dengan izin Allah SWT, kemauan keras, dan motivasi dorongan dari beberapa pihak akhirnya penulis menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: **“Perancangan Sistem Kendali Hybrid PID dan Fuzzy Logic Pada Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Quarter Decay”**

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

HP/WA : 0822-8778-3098

E-mail : eddydarmawan080898@gmail.com