DESAIN PENGENDALI *HYBRID FUZZY-PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERIVATIVE* (PID) PADA SUSPENSI SEPEREMPAT KENDARAAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Elektro

UIN SUSKA RIAU

oleh :

KHAIRUL MASHUDI
11555100275

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2022

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

LEMBAR PERSETUJUAN

DESAIN PENGENDALI *HYBRID FUZZY- PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERIVATIVE* (PID) PADA SUSPENSI SEPEREMPAT KENDARAAN

TUGAS AKHIR

Oleh :

KHAIRUL MASHUDI
11555100275

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 11 Januari 2022.

Pembimbing	Ketua Program Studi
Ahmad Faizal 2022.01.17 14:26:54 +07'00'	Digitally signed by Zulfatri Aini Tanggal: 2022.01.17 16:04:24 WIB
Ahmad Faizal, ST.,MT.	**Dr. Zulfatri Aini, ST.,MT.**
NIP. 19880630 201503 1 006	**NIP. 19721021 200604 2 001**

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN PENGENDALI *HYBRID FUZZY- PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERIVATIVE* (PID) PADA SUSPENSI SEPEREMPAT KENDARAAN

TUGAS AKHIR

Oleh :

KHAIRUL MASHUDI
11555100275

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
Tugas Akhir sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
dari Fakultas Sains dan TeknologiUniversitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 11 Januari 2022.

Pekanbaru, 11 Januari 2022

Mengesahkan,

Dekan	Ketua Program Studi
Dr. Hartono, M.Pd.	Digitally signed by Zulfatri Aini Tanggal: 2022.01.21 07:59:44 WIB
NIP. 19640301 199203 1 003	Dr. Zulfatri Aini, ST.,MT.
	NIP. 19721021 200604 2 001

DEWAN PENGUJI :

Ketua	**: Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc**	Digitally signed by Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc. Location: Pekanbaru Date: 2022.01.17 15:24:45 +07'00'
Sekretaris	**: Ahmad Faizal, ST., MT**	Ahmad Faizal 2022.01.17 14:26:28 +07'00'
Anggota I	**: Aulia Ullah, ST.,M.Eng**	Digitally signed by Aulia Ullah Date: 2022.01.19 14:22:03 +07'00'
Anggota II	**: Halim Mudia, ST., MT**	Halim Mudia Tanggal: 2022.01.21 07:38:10 WIB

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

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

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

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

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Khairul Mashudi
NIM	: 11555100275
Tempat/Tgl Lahir	: Ka. Keritang, 27 September 1997
Fakultas/Pascasarjana	: Sains dan Teknologi
Prodi	: Teknik Elektro
Judul Skripsi	: Desain Pengendali *Hybrid Fuzzy- Proportional, Integral, Derivative* (PID) Pada Suspensi Seperempat Kendaraan

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan Skripsi dengan judul sebagaimana tersebut diatas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu skripsi saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Skripsi saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

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

Pekanbaru, 11 Januari 2022
Yang membuat pernyataan

METERAI TEMPEL
10000
45222AJX654245242

Khairul Mashudi
NIM. 11555100275

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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

LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Semua perbuatan tergantung niatnya, dan (balasan) bagi tiap-tiap orang (tergantung) apa yang diniatkan.
(HR. Bukhari)

Karya tulis ini merupakan anugerah dari Allah SWT yang tidak ternilai harganya.

Sebuah karya yang telah menghantarkan ku sebagai seorang Sarjana.

"*Hanya kepada engkaulah kami menyembah dan hanya kepada engkaulah kami mohon pertolongan" (QS.Al Fatihah: 5)*

Semua ini ku persembahkan kepada:

Kedua orang tuaku yang selalu berkorban, memberikan kasih sayang, tuntunan, bimbingan, serta doa dan semangat agar selalu sabar dan tawakal dalam menjalani hidup ini

"...Wahai Tuhanku, kasihinilah mereka keduanya, sebagaimana mereka berdua telah mendidik aku semenjak kecil" (QS. Al Israa': 24)

Untuk keluargaku, abang dan kakakku

Terima kasih atas doa, curahan kasih sayang dan dorongan yang kalian berikan

Untuk sahabat dan teman-teman

Terima kasih buat sahabat dan teman-teman atas doa dan dukungannya

Kalian adalah orang-orang terbaik yang pernah ku temui dalam kehidupan ini

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

DESAIN PENGENDALI *HYBRID FUZZY-PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERIVATIVE* (PID) PADA SUSPENSI SEPEREMPAT KENDARAAN

KHAIRUL MASHUDI

NIM : 11555100275

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas KM 15 No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Sistem suspensi seperempat kendaraan merupakan salah satu bagian chasis yang berfungsi untuk memberikan kenyamanan bagi pengendara maupun penumpang. Implementasi sistem suspensi seperempat kendaraan terdapat kendala yaitu masih terdapat goncangan atau getaran yang besar. Terkait dari hasil penelitian pendahuluan didapatkan, simulasi respon sistem yang dihasilkan pada sistem suspensi kendaraan seperempat masih terdapat overshoot dan osilasi. Penelitian ini mengusulkan metode pengendali *hybrid Fuzzy*-PID untuk mengurangi *Overshoot* dan osilasi yang terjadi. Pengendali *Fuzzy* yang digunakan adalah mamdani *rules* 5x5, dikombinasikan dengan kendali PID. Nilai matriks pembobot yang digunakan adalah Kp=2, Ki=4, Kd=1. Metode yang digunakan heuristic dan diujikan secara simulasi dengan *setpoint* 1 m/s^2. Dari hasil uji kendali *hybrid Fuzzy*-PID mampu mencapai waktu yang stabil dibuktikan dengan *delay time sebesar* 0.0036 detik , *rise time* 0.117975 detik , *settling time* 0.461065 detik, *overshoot* 3% dan *Error steady state* 0. Serta pada saat di uji dengan gangguan pengendali mampu memberikan respon yang baik yaitu *delay time* sebesar 0.003428 detik, *rise time* 0.090907 detik, *settling time* 1.862843 detik, *overshoot* 12,6% dan *Error steady state* 0.

Kata kunci : *Fuzzy*, Osilasi, *Overshoot*, PID, Suspensi.

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

UIN SUSKA RIAU

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

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

HYBRID CONTROL DESIGN FUZZY-PROPORTIONAL, INTEGRAL, DERIVED (PID) IN SUSPENSION OF QUARTER CAR

KHAIRUL MASHUDI

NIM : 11555100275

Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street. KM 15 No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

The quarter car suspension system is a part of the chassis that functions to provide comfort for the driver and passengers. The implementation of the quarter vehicle suspension system has problems, namely that there are still large shocks or vibrations. With regard to the results of the preliminary investigation, it was determined that the simulation of the system response generated on the suspension system of the quarter vehicle still contained overshoot and oscillations. This study proposes a Fuzzy-PID hybrid control method to reduce overshoot and occurring oscillations. The fuzzy controller used is mamdani rules 5x5, combined with PID control. The weighting matrix values used are Kp=2, Ki=4, Kd=1. The method used is heuristic and tested by simulation with a set point of 1 m/s^2. The test results show that the Fuzzy-PID hybrid control can achieve a stable time, as evidenced by a rapid rise time of 0.117975 seconds, a delay time of 0, 0036 seconds, settling time 0.461065 seconds, 3% overshoot, and 0 idle error. And when tested with failure, the controller is capable of good response, which is rise time 0.090907seconds, settling time 1.862843 seconds and overshoot 12.6% and steady state error 0.

Keywords: *Fuzzy, Oscillation, Overshoot, PID, Suspension.*

UIN SUSKA RIAU

UIN SUSKA RIAU

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

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

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillahi rabbil 'alamin, segala puji dan syukur selalu tercurah kehadirat Allah Swt atas limpahan Rahmat, Nikmat, Ilmu, dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat mengerjakan dan akhirnya menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **"Desain Pengendali *Hybrid Fuzzy*-PID pada Suspensi Seperempat Kendaraan"** sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Shalawat beserta salam penulis hadiahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu'Alaihi Wassalam yang merupakan suri tauladan bagi kita semua, semoga kita semua termasuk dalam umatnya yang kelak mendapat syafa'at dari beliau.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulusnya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Teristimewa teruntuk kedua Orang tua saya Bapak Ikhwanudin dan Ibu Siti Kasyani yang telah mendo'akan dan memberikan dukungan, serta motivasi agar saya dapat tawakal dan sabar sehingga sukses memperoleh kelancaran dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik.
2. Kepada Abang saya MHD.Zainal Arofi, Adik saya MHD.Saihul Ma'ruf, Siti Wiji Lestari serta keluarga yang selalu membantu dan memberikan semangat selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Khairunnas Rajab, M.Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Dr. Hartono, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Ibu Dr. Zulfatri Aini, ST.,MT. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Sutoyo, ST., MT. selaku Sekretaris Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

7. Bapak Ahmad Faizal, ST., MT. selaku koordinator Tugas Akhir Prodi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi yang selalu membantu memberikan inspirasi dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Bapak Dr. Teddy Purnamirza, ST.,M.Eng. selaku pembimbing akademik (PA) yang selalu membantu, selalu mendukung serta selalu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran dalam memberikan arahan maupun kritikan yang membangun kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Bapak Ahmad Faizal, ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir (TA) yang selalu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran dalam memberikan arahan maupun kritikan yang membangun kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Prodi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Bapak Ari Eka Wahyudi, S.Kom yang telah mengizinkan penggunaan Fasilitas komputer sekaligus WiFi nya untuk keperluan pengujian serta simulasi Project Tugas Akhir ini hingga selesai.
12. Abangda Helmi Yardi, S.Pd, Yayan Tri Wahyudi, S.Sos, Tri Handoko, S.Pd, Fitri Handayani, S.Pd, Shopiyana, S.Pd, serta abang dan kakak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
13. Kepada Tim A37-Perubahan, Saharudin, S.Pi, Khairul Mustafa, S.Pd, Rusdi, Prayuda Bayu Anggara, Anas Zikrullah, Fadli Ramadan dan sahabat lainya yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
14. Owner Mutiara Rupat M.Juliadi,S.Pd beserta istri dan keluara fotocopy yang telah mendukung penyelesaian laporan Tugas akhir ini.
15. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberi motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mulai dari awal hingga selesai yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat bermanfaat.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang.

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

Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang. Aamiin.

Wassalamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh

Pekanbaru, 11 Januari 2022
Penulis

Khairul Mashudi

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR ..... **i**

DAFTAR ISI ..... **iii**

DAFTAR GAMBAR ..... **vi**

DAFTAR TABEL ..... **vii**

DAFTAR SIMBOL ..... **viii**

DAFTAR SINGKATAN ..... **ix**

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang I-1

1.2 Rumusan Masalah I-5

1.3 Tujuan Penelitian I-5

1.4 Batasan Masalah I-5

1.5 Manfaat Penelitian I-5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait II-1

2.2 Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*) II-3

2.2.1 Pemodelan Seperempat Kendaraan *(Quarter Car)* II-7

2.3 Pengendali Logika *Fuzzy* II-8

2.3.1 Aturan Dasar Logika *Fuzzy* II-9

2.3.1.1 *Fuzzyfikasi* II-10

2.3.2 Sistem Inferensi Fuzzy II-15

2.3.2.1 Metode Tsukmoto II-16

2.3.2.2 Metode Mamdani II-16

2.3.2.3 Metode Sugeno II-17

2.3.3 Defuzzyfikasi (Penegasan) II-17

2.3.3.1 Metode *Centroid* II-17

2.3.3.2 Metode *Bisector* II-17

2.3.3.3 Metode *Mean of Maximum* II-18

2.3.3.4 Metode *Largest of Minimum* II-18

2.3.3.5 Metode *Smallest of Maximum* II-18

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

2.4 *Proportional*, *Integral* dan *Derivative* (PID) II-18
2.4.1 *Proportional* II-18
2.4.2 *Integral* II-19
2.4.3 *Derivative* II-20
2.5 Identifikasi Sistem II-21
2.6 Matlab II-23
2.6.1 Fungsi Setiap Window Pada Matlab II-23
2.6.1.1 Matlab *Command Window/Editor* II-24
2.6.1.2 Matlab *Editor/Debugger* II-24
2.6.1.3 *Figure Windows* II-25
2.6.1.4 Matlab *Help Window* II-25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Proses Penelitian III-1
3.2 Tahapan Penelitian III-1
3.2.1 Studi Literatur III-3
3.2.2 Pengumpulan Data pra-Disain III-3
3.2.3 Penentuan Variabel III-3
3.2.4 Validasi Pemodelan dan Pengujian Matematis III-3
3.2.5 Desain Pengendali Fuzzy dengan Kombinasi PID III-4
3.2.6 Analisa Hasil III-4
3.2.7 Kesimpulan III-4
3.3 Pengumpulan Data III-4
3.4 Penentuan Variabel III-4
3.5 Validasi Model Matematis III-5
3.6 Perancangan Kendali *Fuzzy* III-6
3.6.1 Fuzzyfikasi III-6
3.6.2 Perancangan Aturan Logika *Fuzzy (Rule Base)* III-8
3.6.3 Proses Defuzzyfikasi III-9
3.7 Perancangan Pengendali *Fuzzy* Pada MATLAB III-10
3.8 Perancangan Pengendali Proporsional Integral Derivative (PID) III-11
3.9 Perancangan Pengendali logika *Fuzzy*-PID III-11

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

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Gambaran Umum Pengujian IV-1

4.2 Analisa *Open Loop* Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*) IV-1

4.3 Analisa Pengendali *Fuzzy* Pada Sistem Suspensi seperempat Kendaraan (*Quarter Car*) IV-6

4.4 Analisa Pengendali Logika *Fuzzy*-PID Pada Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*) IV-11

4.5 Analisa Pengendali Logika *Fuzzy*-PID Pada Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*) Dengan Gangguan IV-13

4.6 Analisa Perbandingan Sistem Menggunakan Pengendali *Fuzzy* dan *Fuzzy*-PID Serta Pengendali *Fuzzy*-PID Saat Diberikan Gangguan Pada Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*) Dengan Gangguan IV-19

BAB IV PENUTUP

5.1 Kesimpulan V-1

5.2 Saran V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Jenis Gerakan Pada Sistem Suspensi	II-4
2.2	Sistem Suspensi Model Seperempat Kendaraan	II-5
2.3	Skema representasi model suspensi seperempat kendaraan	II-5
2.4	Konsep Dasar Logika Fuzzy	II-8
2.5	Struktur Umum Kendali Logika Fuzzy	II-9
2.6	Representasi Linear Naik	II-10
2.7	Representi Linear Turun	II-11
2.8	Representasi Kurva Segitiga	II-12
2.9	Representasi Kurva Trapesium	II-12
2.10	Representasi Bentuk Kurva Bahu	II-13
2.11	Karakteristik Fungsi Kurva S- Pertumbuhan	II-13
2.12	Karakteristik Fungsi Kurva S-Penyusutan	II-14
2.13	Karakteristik Fungsional Kurva π	II-14
2.14	Karakteristik Fungsional Kurva Beta	II-15
2.15	Karakteristik Fungsional Kurva Gauss	II-15
2.16	Diagram blok kendali *proportional*	II-18
2.17	Diagram blok kendali *integral*	II-19
2.18	Diagram blok kendali *derivative*	II-20
2.19	Respon transient	II-22
2.20	Ikon MATLAB	II-23
3.1	*Flow chart* penelitian.	III-2
3.2	Blok *simulink* sistem suspensi seperempat kendaraan.	III-5
3.3	Respon sistem suspensi seperempat kendaraan secara *open loop*.	III-5
3.4	Fungsi keanggotaan inpur *error*.	III-7
3.5	Fungsi keanggotaan input *delta error*	III-7
3.6	Fungsi keanggotaan output kontrol U	III-8
3.7	Gambar 3.7 Diagram blok alur perancangan simulasi .	III-9
3.8	Diagram Blok sistem suspensi dengan Fuzzy Logic pada Simulink	III-9
3.9	Grafik respon sistem suspensi dengan *fuzzy logic*	III-11
3.10	Blok Diagram Kendali PID	III-10
3.11	Blok Diagran Kendali Fuzzy-PID	III-10

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

4.1 Blok *Simulink* Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan Secara *Open Loop* ... IV-2
4.2 Hasil Respon Sistem Secara *Opern Loop* IV-2
4.3 Blok Diagram Kendali *Fuzzy* IV-6
4.4 Grafik Respon Sistem Suspensi Dengan *Fuzzy Logic* IV-7
4.5 Blok Diagram Pengendali *Fuzzy*-PID IV-11
4.6 Grafik Respon Sistem Suspensi dengan *Fuzzy*-PID IV-11
4.7 Blok Diagram Pengendali *Fuzzy*-PID Dengan Diberikan Gangguan IV-15
4.8 Grafik Respon Sistem Suspensi *Fuzzy*-PID Dengan Gangguan IV-15

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

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Parameter *Quarter Car* II-7

3.1 Parameter Suspensi Seperempat kendaraan III-3

3.2 Rule base pengendali Fuzzy III-11

3.3 Penalaan PID menggunakan metode *heuristic* III-12

4.1 Konstanta waktu pada *workspace* IV-3

4.2 Data *delay time* sistem secara *open loop* IV-3

4.3 Data *rise time* 10% pada workspace IV-4

4.4 Data *rise time* 90% pada *workspace* IV-4

4.5 Data *settling time* pada *workspace* IV-5

4.6 Analisis Respon sistem Secara *Open loop* IV-6

4.7 Konstanta waktu pada *workspace* IV-7

4.8 Data *delay time* pada *workspace* menggunakan pengendali *Fuzzy* IV-8

4.9 Data *rise time* 10% pada *workspace* IV-8

4.10 Data *rise time* 90% pada *workspace* IV-9

4.11 Data *settling time* pada *workspace* IV-9

4.12 Analisis Respon Pengendali Logika *Fuzzy* IV-10

4.13 Konstanta waktu pada *workspace* IV-12

4.14 *Delay time Fuzzy*-PID pada *workspace* IV-12

4.15 *Rise time* 10% *Fuzzy*-PID pada *workspace* IV-13

4.16 *Rise time* 90% *Fuzzy*-PID pada *workspace* IV-13

4.17 *Settling time Fuzzy*-PID pada *workspace* IV-14

4.18 Analisis Respon Pengendali *Fuzzy*-PID IV-14

4.19 Konstanta waktu pada *workspace* IV-16

4.20 *Delay time Fuzzy*-PID dengan gangguan pada *workspace* IV-16

4.21 *Rise time* 10% *Fuzzy*-PID dengan gangguan pada *workspace* IV-17

4.22 *Rise time* 90% *Fuzzy*-PID dengan gangguan pada *workspace* IV-17

4.23 *Settling time Fuzzy*-PID dengan gangguan pada *workspace* IV-18

4.24 Analisis Respon Pengendali *Fuzzy*-PID dengan Gangguan IV-19

4.25 Perbandingan Respon Pengendali *Fuzzy*, *Fuzzy*-PID dan *Fuzzy*-PID dengan gangguan IV-19

UIN SUSKA RIAU

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

DAFTAR SIMBOL

n = orde sistem

t_s = *settling time*

t_r = *rise time*

t_d = *delay time*

E_{ss} = *error steady state*

K_p = konstanta *proportional*

K_i = konstanta *integral*

K_d = konstanta *derivatif*

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

DAFTAR SINGKATAN

FLC = *Fuzzy Logic Control*

FIS = *Fuzzy Inference Sistem*

PID = *Proportional Integral Derivative*

MATLAB = *Matrix Laboratory*

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

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi darat merupakan alat yang mempunyai keterikatan penumpang, barang, sarana dan prasarana ruang darat yang berinteraksi dalam rangka perpindahan orang atau barang yang tercakup dalam tatanan baik secara alami maupun buatan. Transportasi darat mencakup semua jenis transportasi dengan berbagai tipe angkutan dan salah satunya ialah mobil [1]. Mobil merupakan sarana transportasi darat yang digerakkan oleh mesin berbahan bakar minyak (bensin atau solar) dan beroda empat atau lebih (selalu genap). Di perkembangan nya saat ini, mobil juga mengalami perubahan pada produksinya. Mulai dari mesin, bagian dalam dan luar mobil serta keamanan dan kenyamanan mobil itu sendiri agar tetap diminati oleh manusia. Keamanan dan kenyamanan berkendara tentu menjadi tuntutan bagi pengendara.

Kondisi ideal kenyamanan yang di inginkan adalah kondisi kabin atau *body* mobil yang tidak terlalu mengalami guncangan ketika berada di kondisi jalan yang tidak rata atau rusak. Tetapi kondisi ini tidaklah mudah untuk dicapai, sehingga pendekatan yang di tempuh adalah meminimkan efek gangguan yang berupa ketidakrataan jalan dengan memasang sebuah sistem, sistem tersebut dinamakan sistem suspensi. Sistem suspensi pada kendaraan memegang peranan yang sangat penting dalam memperoleh kenyamanan dan keamanan dalam berkendara. Namun, Sistem suspensi ini juga memiliki dampak negatife bagi pengguna apabila sistem suspensinya tidak berguna dengan baik penumpang akan mengalami guncangan yang dirasa tidak nyaman, mobil sulit dikuasai dan bila terjadi guncangan yang kuat dapat merusak kendaraan atau penumpang dan barang bawaan. [2]

Sistem suspensi adalah salah satu bagian chasis yang berfungsi untuk memberikan kenyamanan bagi pengendara atau penumpang. Sistem suspensi terletak antara body mobil dan roda-roda, dirancang untuk menyerap kejutan dari permukaan jalan yang bergelombang sehingga menambah kenyamanan berkendara dan memperbaiki kemampuan cengkraman roda terhadap jalan. Suspensi terdiri atas pegas, shock absorber (peredam kejut, stabilizer dan sebagainya) [3]. Kegunaan suspensi ini untuk memaksimalkan gesekan antara ban dan permukaan jalan, untuk memberikan stabilitas kemudi dengan penanganan yang baik dan untuk menjamin kenyamanan penumpang.

Satu unit sistem suspensi pada kendaraan pada umumnya terdiri atas sebuah pegas dan sebuah peredam kejut yang terdiri dari besaran massa, gaya yang bekerja pada pegas dan konstanta pegas dan peredam kejut [4]. Sistem suspensi dapat diklasifikasi menjadi pasif, aktif dan semi-aktif. Pada sistem suspensi pasif, komponen yang digunakan masih konvensional dan memiliki karakteristik tetap, yaitu pegas tanpa adanya komponen pengontrol dan peredam penyerap getaran. Sistem suspensi semi-aktif terdiri dari komponen pasif dan aktif. Sedangkan sistem suspensi aktif tidak memiliki komponen pasif. Saat ini, suspensi aktif ditandai dengan aktuator hidrolik yang ditempati secara seri (*low bandwith*) atau paralel (*high bandwith*) dengan pegas dan peredam. Pegas dan peredam merupakan komponen utama yang menyusun suatu sistem suspensi, yang berfungsi untuk menopang badan kendaraan, meredam getaran ketika kendaraan berinteraksi dengan jalan [5].

Untuk menganalisa karakteristik sistem suspensi maka digunakan model seperempat kendaraan. Model ini digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis karakteristik dari sistem suspensi. Pada model kendaraan seperempat, membagi sistem suspensi menjadi empat bagian dengan asumsi setiap suspensi pada keempat roda kendaraan simetris. Massa badan kendaraan yang diperhitungkan pada setiap suspensi merupakan massa badan kendaraan keseluruhan dibagi empat [6].

Dalam perkembangannya tidak semua sistem suspensi mampu memberikan kenyamanan yang baik. Suspensi yang baik mampu meredam *overshoot* dan osilasi yang terjadi secara terus menerus akibat goncangan. Beberapa penelitian tentang suspensi seperempat kendaraan diantaranya yaitu. Pertama membahas tentang optimalisasi sistem suspensi menggunakan *PID* dengan metode algoritma genetik dan penalaan parameter menggunakan metode *Ziegler-Nichols*. Didapatkan nilai parameter dari masing masing metode. Pada metode algoritma genetika menghasilkan nilai *oveshoot* sebesar 17.5%, *rise time* 0.025 detik, *settling time* 0.27 detik, sedangkan metode *Ziegler Nichols* menghasilkan *overshoot* 31.8%, *rise time* 0.0339 detik dan *settling time* 0.51 detik. Dari penelitian ini kelemahan yang disebutkan adalah pengendali PID belum mampu mencapai kestabilan yang baik terbukti dengan masih adanya *overshoot* pada metode ZN sebesar 31.8% dan pada metode GA sebesar 17.5%[7].

Penelitian kedua membahas masalah simulasi dan analisis *fuzzy logic controller* pada sistem suspensi. Kendali *fuzzy* dibuat menggunakan *Simulink matlab* dengan *fuzzy interface system* dan hasil pengujian pada kendali *fuzzy* dengan tiga variasi aturan *fuzzy*

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

yaitu 7 aturan, 25 aturan, dan 49 aturan menunjukkan performansi yang berbeda. Respon yang paling optimal dan sesuai dengan kriteria adalah 49 aturan dimana di dapatkan karakteristik respon sebagai berikut *settling time* 1.05 detik, *overshoot* 2.78 %, *peaktime* 0.51 detik, *rise time* 0.4 detik. Dari hasil respon diatas penggunaan kendali *fuzzy* menghasilkan sistem lebih stabil dan cepat serta menghilangkan *error steady state* serta lebih baik dari kendali sebelumnya dengan menggunakan *PID*[8]. Namun demikian hasil yang didapatkan belum sepenuhnya optimal dan masih didapati *overshoot* sebesar 2.78 %.

Penelitian ketiga yang membahas pengendalian sistem suspensi menggunakan pengendali P, PI, PID, GA-PID, and Auto Tuned PID Controller dalam matlab [6]. Sistem mencapai kestabilan yang baik bisa dilihat pada waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil. Akan tetapi pada penelitian ini masih terdapat *overshoot* pada PID sebesar 3.8%, pada GA-PID sebesar 0.8% dan pada Auto tuned PID sebesar 1.8%. Penelitian selanjutnya menggunakan pengendali *fuzzy logic controller* (FLC), *sliding mode control* (SMC), dan *fuzzy sliding mode control* (FSMC). Saat menguji kinerja pengendali, sistem ini mengalami empat jenis gangguan jalan secara individual. Tanggapan tersebut dibandingkan satu sama lain bersama dengan sistem pasif. Hasil simulasi menunjukkan bahwa FSMC mengurangi getaran 89,97%, lebih baik daripada SMC 85,15% I-3 dan FLC 79,26%. Persentase pengurangan getaran dihitung dengan memperhatikan sistem pasif. FSMC mengontrol gangguan dengan lebih baik daripada dua pengendali lain yang dirancang untuk sistem pada saat kondisi jalan rusak[9].

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sistem suspensi memiliki masalah pada *overshoot* dan osilasi. O*vershoot* merupakan tanda ketidakstabilan sistem karena *overshoot* bermakna lonjakan yang terjadi ketika sistem diberi masukan. osilasi dapat disebut sebagai *flicker* atau gangguan yang mengubah bentuk gelombang menjadi rusak. Dari beberapa penelitian yang telah dirancang untuk mengatasi permasalahan pada sistem suspensi tersebut, penelitian yang dilakukan oleh Michael Akpakpavi dengan menggunakan pengendali P, PI, PID, GA-PID dan Auto tuned PID *Controller* adalah yang terbaik. Pada penelitian ini pengendali GA-PID memberikan tingkat kinerja kontrol sistem yang lebih baik dan lebih tinggi dari pengendali lainnya. Namun, pada pengendali GA-PID masih terdapat *overshoot* 0.8% [9].

Dari beberapa penilitian diatas terdapat kelemahan utama pada sistem adalah adanya *overshoot* yang merupakan tanda ketidakstabilan pada suatu system, maka dibutuhkan pengendali yang mampu menyelesaikan persoalan *overshoot* tersebut. Hal ini dikarenakan

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

overshoot merupakan lonjakan atau osilasi yang terjadi ketika sistem pertama kali diberi masukan. Sehingga dibutuhkan nya pengendali yang mampu mengatasi persoalan kestabilan. Salah satu pengendali yang mampu mengatasi persoalan tersebut adalah pengendali cerdas logika fuzy (*Fuzzy Logic Control*).

Pemilihan pengendali logika *fuzzy* ini didasarkan pada kebutuhan dimana input dari sistem suspensi yang berasal dari permukaan jalan yang relatif tidak rata atau dapat direpresentasikan sebagai sinyal input yang selalu berubah-ubah dan fluktuatif, hal tersebut selaras dengan kemampuan pengendali *Fuzzy* yang dapat mengolah dan mengendalikan sistem yang sangat tidak linier dengan kompleksitas tinggi. Selain itu *Fuzzy* juga merupakan pengendali cerdas yang tidak memerlukan perhitungan matematika yang rumit karena dipresentasikan ke dalam bentuk *rule* yang berisikan kemungkinan-kemungkinan. Meskipun begitu logika *fuzzy* juga memiliki kekurangan yaitu lambat dalam mencapai *respon time* yang diinginkan. [8]. Untuk itu penulis akan menggunakan logika *fuzzy* dalam penelitian ini untuk mengatasi gangguan yang berupa *overshoot* dan osilasi akibat dari ketidakrataan permukaan jalan untuk mendapatkan stabilitas suspensi yang lebih baik.

Pada penelitian pendahuluan penggunaan pengendali logika *Fuzzy* dengan hasil respon yang paling optimal dan sesuai dengan kriteria adalah 49 aturan dimana di dapatkan karakteristik respon sebagai berikut *settling time* 1.05 detik, *overshoot* 2.78 %, *peaktime* 0.51 detik, *rise time* 0.4 detik. Untuk menyempurnakan respon yang dihasilkan pada pengendali logika *Fuzzy*, yang masih terdapat permasalahan *overshoot* maka dapat dikombinasikan dengan salah satu kendali konvensional yaitu PID. Pengendali PID merupakan salah satu pengendali yang terdiri dari atas dasar tiga kendali yaitu proporsional integral dan derivatif. Dimana pengendali proporsional (K_p) dapat memberikan efek waktu naik lebih cepat dan menghapus *error steady state*. Pengendali integral (K_i) akan memberikan efek menghapus *error stady state* tetapi berakibat buruk pada respon. Pengendali derivatif (K_d) memberikan efek pada meningkatnya nilai stabilitas system, menghilangkan *overshoot* dan mengurangi osilasi[1][8].

Dari beberapa penelitian pengombinasian pengedali cerdas logika *fuzzy* dengan PID mampu menghasilkan respon yang cepat, mampu menghilangkan *overshoot* dan *error steady state* saat diberikan gangguan[17][18]. Hipotesa yang muncul adalah kombinasi pengendali Logika Fuzzy-PID ini dapat menghilangkan *Overshoot* dan *Osilasi* dalam mengendalikan sistem suspensi. Berdasarkan uraian tersebut penelitian tugas akhir ini berjudul "Desain Pengendali *Hybrid Fuzzy*-PID Pada Suspensi Seperempat Kendaraan".

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

UIN SUSKA RIAU

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

©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalahan pada penelitian ini ialah:

1. Bagaimana mendesain pengendali hybrid *Fuzzy-* (PID) untuk mengatasi/mengurangi ketidakstabilan percepatan massa kendaraan (*Overshoot* dan osilasi) pada sistem suspensi seperempat kendaraan?
2. Serta mengetahui apa pengaruh Pengendali *Hybrid Fuzzy-PID* terhadap performansi sistem suspensi kendaraan seperempat ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain sebuah pengendali *Hybrid Fuzzy-PID* yang mampu mengendalikan Percepatan massa body pada sistem suspensi seperempat kendaraan dengan fokus penelitian untuk mengatasi ketidakstabilan (*Overshoot* dan osilasi). Serta menganalisa pengaruh performansi pengendali *Hybrid Fuzzy-PID* pada sistem suspensi seperempat kendaraan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Variable yang dikendalikan pada penelitian ini ada kestabilan pada sistem suspensi model kendaraan seperempat dengan fokus mengecilkan *overshoot* dan osilasi.
2. Penurunan model matematis sistem dirujuk dari jurnal internasional yang berjudul Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspension System Using Genetic Algorithm [7].
3. Plant suspensi yang digunakan adalah suspensi pasif.
4. Pengendali yang digunakan adalah Logika *Fuzzy* dan dan *tuning* PID menggunakan metode heuristik.
5. Simulasi menggunakan software MATLAB R2016a.
6. Tidak membahas perangkat keras komponen suspensi.

UIN SUSKA RIAU

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai referensi tambahan bagi peneliti peneliti berikutnya.
2. Dapat menjadi salah satu referensi untuk penerapan pengendali dalam proses industri.

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penjelasan beberapa penelitian terkait dan mengkaji teori-teori yang sudah ada sebelumnya. Teori yang digunakan kemudian disajikan untuk memperkuat argument penulis dalam penelitian yang telah dilakukan ini. Bab ini berisi tentang teori-teori penunjang sebagai tinjauan pustaka dan berbagai buku, jurnal serta literatur lainnya yang mendukung penelitian ini.

2.1 Penelitian Terkait

Performansi sistem yang baik adalah sistem yang mampu mengatasi gangguan. Gangguan merupakan faktor ketidakpastian yang dapat terjadi dalam sistem dan tidak dapat diprediksi. Gangguan yang muncul pada sistem dapat diatasi dengan cara memilih dan merancang pengendali yang memiliki sifat kokoh terhadap gangguan, sehingga kekokohan sistem dapat terjaga. Dalam Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, paper, buku dan sumber lainnya.

Untuk menyelesaikan masalah suspensi pada mobil seperempat ini, pertama sebuah penelitian yang berjudul "*Optimization of PID Controller for Quarter Car Suspension System Using Genetic Algorithm*". membahas sistem suspensi seperempat mobil menggunakan algoritma genetika dan mencoba mengimplementasikannya dengan pengendali PID. Permasalahan dalam penelitian ini adalah kesulitan dalam mencari konstanta PID yang tepat, untuk itu metode Ziegier Nichols (ZN) digunakan untuk mencari konstanta PID tersebut. Lalu kelemahan konstanta PID menggunakan ZN dibandingkan dengan pengendali menggunakan Genetic Algorithm (GA). Hasil yang didapatkan pengendali PID dengan ZN belum mampu mencapai kestabilan yang baik, masih terdapat *overshoot* sebesar 31.8% dan pada PID menggunakan metode GA sebesar 17.5%. Perlu perbaikan menggunakan metode lain untuk mengecilkan permasalahan *overshoot* tersebut[7].

Pada penelitian kedua ini menjelaskan pengendalian sistem suspensi menggunakan pengendalian PID,GA-PID dan Auto tuned PID. Sistem mencapai kestabilan yang baik bisa dilihat pada waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil pada PID

yaitu sebesar 1.5 detik, pada GA-PID sebesar 1.1 detik dan pada Auto tuned PID sebesar 1.3 detik dengan waktu simulasi selama 10 detik. Akan tetapi pada penelitian ini masih terdapat overshoot pada PID sebesar 3.8%, pada GA-PID sebesar 0.8% dan pada Auto tuned PID sebesar 1.8%. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengendali GA-PID lebih baik dari pada pengendali PID dan Auto tuned PID. Pengendali GA-PID juga menghasilkan overshoot yang lebih kecil dari pada pengendali sebelumnya. Namun, masih diperlukannya upaya pengendali lain untuk mencoba menghilangkan overshoot tersebut[9].

Pada penelitian ketiga, kontrol getaran model seperempat kendaraan adalah salah satu faktor penting untuk meningkatkan kenyamanan perjalanan dari penumpang. Dalam penelitian ini, massa kenyamanan perjalanan penumpang dianalisis dengan merancang dan mensimulasikan *Fuzzy Logic Control* (FLC), *Sliding Mode Controller* (SMC) dan *Fuzzy* SMC (FSMC). Mode suspensi menguji kinerja pengendali, sistem ini mengalami empat jenis gangguan jalan secara individual. Tanggapan tersebut dibandingkan satu sama lain bersama dengan sistem pasif. Hasil simulasi menunjukkan bahwa FSMC mengurangi getaran 89,97%, lebih baik daripada SMC 85,15% dan FLC 79,26%. Persentase pengurangan getaran getaran dihitung dengan memperhatikan sistem pasif. FSMC mengontrol gangguan gangguan lebih baik daripada dua pengendali lain yang dirancang untuk sistem pada saat kondisi jalan rusak[7].

Kemudian pada penelitian keempat yang berjudul "Simulasi dan Analisis Respon *Fuzzy Logic Controller* Pada Sistem Suspensi".membahas tentang Desain dan Analisis kendali sistem suspensi menggunakan PID dan Logika *Fuzzy*. Pada penelitian ini PID melakukan pengujian sebanyak 6 kali sehingga dapat mengetahui pengaruh pemberian penguatan terhadap hasil peformansi sistem, sedangkan pengujian pada FLC dilakukan dengan tiga variasi aturan *fuzzy* yaitu 7 aturan, 25 aturan dan 49 aturan. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan tanggapan sistem kendali PID dengan nilai rata-rata (ts)=1.7 detik, (tr)=0.304 detik dan *overshoot* sebesar 2.09%. sedangkan kendali FLC dihasilkan (ts)=1.05detik, (tr)=0.4 detik dan *overshoot* sebesar 2.78%. jadi disimpulkan bahwa kendali PID mampu meningkat kinerja dari pada kendali FLC. Kendali PID juga mampu menghasilkan *overshoot* yang lebih kecil dari pada metode sebelumnya [6]. Namun masih terdapat osilasi yg cukup besar antara kedua pengendali tersebut.

Selanjutnya pada penelitian "Pengendalian Posisi Pada *Magnetic Levitation Ball* Menggunakan Pengendali *Hybrid Fuzzy*-PID" mempunyai performansi yang lebih baik dari *fuzzy*, ditinjau dari nilai parameter identifikasi sistem (τ, td, tr, tp, ts dan Ess). Hal ini

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

dibuktikan dengan nilai respon transient yaitu nilai konstanta waktu sebesar 0.0530 detik, waktu tunda sebesar 0.0372 detik, waktu naik sebesar 0.0882 detik, waktu tunak sebesar 0.265 detik, Sehingga dapat dikatakan bahwa pengendali hybrid fuzzy-PID yang dirancang telah bekerja dengan baik dalam meningkatkan performansi[17].

Berdasarkan beberapa referensi yang telah ditemui dapat disimpulkan masih adanya masalah *Overshoot* dan *Osilasi* yang cukup besar pada setiap pengendali, Sehingga penulis akan merancang pengendali yang mampu mengatasi fluktuasi input dan output serta mengurangi overshoot dan osilasi yaitu pengendali logika *Fuzzy* yang akan dikombinasikan dengan Proporsional (P), Integral (I), dan Derivative (D), agar kekurangan dari respon sebelumya dapat teratasi.

2.2 Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*)

Sistem suspensi merupakan suatu kompenen mekanik penting pada bagian kendaraan. Dimana suspensi dapat mencegah gangguan pada jalan untuk mempengaruhi kenyamanan penumpang dan meningkatkan kemampuan berkendara dan tingkat mengemudi yang halus. Tujuan mendasar dari suspensi untuk mempertahankan kontak terus menerus antara roda dan permukaan jalan, dan untuk mengisolasi penumpang atau muatan dari getaran yang disebabkan oleh jalan yang tidak rata. Kedua tujuan ini bertanggung jawab atas penanganannya kualitas dan kenyamanan berkendara. Suspensi terdiri dari sistem pegas, peredam kejut dan hubungan yang menghubungkan kendaraan ke rodanya. Dalam arti lain, sistem suspensi adalah mekanisme yang memisahkan secara fisik kabini mobil dari roda mobil. Fungsi utama sistem suspensi kendaraan adalah meminimalkan percepatan vertikal yang ditransmisikan ke penumpang yang langsung memberikan kenyamanan jalan. Sistem suspensi yang baik yaitu mengurangi isolasi getaran yang baik[10].

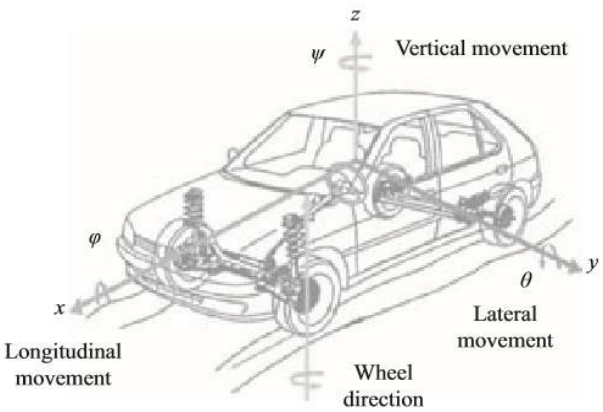
Menurut masukan daya eksternal, sistem suspensi dikategorikan menjadi pasif, semi-aktif, dan aktif. Sistem suspensi aktif ditandai dengan aktuator hidrolik yang ditempatkan secara seri (*low bandwith*) atau paralel (*high bandwith*) dengan pegas dan peredam. Pegas dan peredam merupakan komponen utama yang menyusun sistem suspensi, yang dapat menopang badan kendaraan dan meredam getaran saat berinteraksi dengan jalan. Sistem suspensi aktif yaitu sistem yang hanya menggunakan komponen aktif artinya pada sistem suspensi aktif ini tidak digunakan komponen pasif. Sedangkan pada sistem suspensi semi-aktif merupakan gabungan dari komponen pasif dan komponen aktif. Sistem dengan

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

komponen pasif akan mempunyai karakteristik yang tetap untuk berbagai permukaan jalan. Penggunaan komponen aktif dapat merubah karakteristik sistem sesuai dengan permukaan jalan, adanya perubahan massa kendaraan akibat perubahan penumpang maupun bahan bakar. Suspensi pasif terdiri dari komponen pasif, yaitu pegas dan peredam, dimana tidak ada energi dari luar yang mempengaruhinya[11].

Sistem suspensi aktif memiliki kemampuan untuk mengurangi percepatan massa yang bermunculan secara terus menerus dan juga meminimalkan defleksi suspensi, yang menghasilkan peningkatan cengkraman roda dengan permukaan jalan, dengan demikian rem, kontrol traksi dan kemampuan gerakan kendaraan bisa jauh lebih baik. Tujuan dari sistem suspensi adalah untuk memberikan perjalanan yang mulus dalam mobil dan untuk membantu menjaga mengendalikan kendaraan di medan yang kasar atau dalam hal terjadi pemberhentian tiba-tiba, peningkatan kenyamanan pengendaraan menghasilkan lebih besar gaya suspensi dan redaman yang lebih kecil pada roda [12].

Pada penelitian ini digunakan model kendaraan seperempat. Model kendaraan seperempat ini adalah model paling sederhana. Ia hanya mempengaruhi vertical gerakan badan kendaraan dan roda. Model ini juga mempermudah dalam menganalisis karakteristik dari sistem suspensi. Ketika mencari kenyamanan, kita bias pertimbangkan hanya perpindahan tubuh bukan roda. Model ini disebut model mobil kuartal 1 DOF (tingkat kebebasan). Pada model kendaraan seperempat, membagi sistem suspensi menjadi empat bagian dengan asumsi setiap suspensi pada keempat roda kendaraan simetris. Massa badan kendaraan yang diperhitungkan pada setiap suspensi merupakan massa badan kendaraan keseluruhan dibagi empat. Gambar 2.1 menunjukkan berbagai jenis dari gerakan sistem suspensi. Gambar 2.2 menunjukkan sistem suspensi model kendaraan seperempat [13].



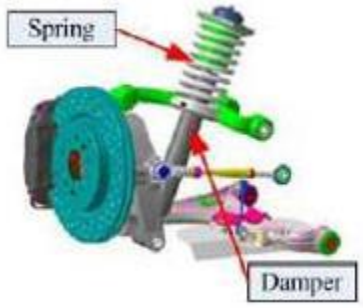
Gambar 2.1 Jenis Gerakan Pada Sistem Suspensi [13]

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

UIN SUSKA RIAU

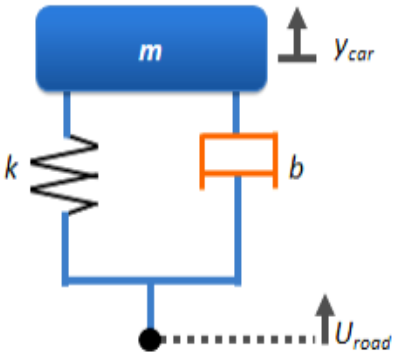
2.2.1 Permodelan Suspensi Seperempat Kendaraan (*Quarter Car*)

Model seperempat kendaraan mempermudah dalam menganalisis karakteristik dari sistem suspensi pada keempat roda kendaraan seperempat, membagi sistem suspensi menjadi empat bagian dengan asumsi setiap suspensi pada keempat roda kendaraan simetris. Sistem suspensi model seperempat kendaraan terdiri dari seperempat dari massa tubuh, suspensi komponen dan satu roda. Asumsi seperempat kendaraan yaitu ban dimodelkan sebagai pegas linear tanpa redaman, tidak ada gerak rotasi di roda dan tubuh, perilaku pegas dan damper linear, ban selalu bersentuhan dengan permukaan jalan dan efek geseran di abaikan sehingga struktural redaman tidak dianggap menjadi pemodelan kendaraan[4].



Gambar 2.2 Sistem Suspensi Model Kendaraan Seperempat [4]

Model suspensi mobil seperempat adalah salah satu dari empat suspensi di mobil yang khas. Sistem order kedua ini, dapat didekati sebagai sistem massa pegas peredam, dengan input sebagai perubahan ketinggian jalan yaitu gangguan yang ada di jalan dan output sebagai perpindahan vertical dari badan mobil. Dinamika sistem dapat dimodelkan menggunakan persamaan diferensial orde kedua yang diberikan oleh persamaan 2.1 dan diagram skematik pada gambar 2.3 [5].



Gambar 2.3 Skema representasi model suspensi seperempat kendaraan[7]

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

UIN SUSKA RIAU

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Dimana

m = Massa Kendaraan

k = Konstanta Pegas

b = Konstanta Peredam

Dari pemodelan diatas gaya yang bekerja pada massa m adalah gaya pegas / spring force (F_s) dan gaya peredam / damping force (F_d). Dimana gaya pegas nilainya sebanding dengan nilai konstanta pegas (k) serta jarak perpindahan (vertikal) dari posisi keseimbangan (y) sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$F = -ky \tag{2.1}$$

Tanda negative menunjukan gaya yang bekerja akan mengembalikan massa m ke posisi keseimbangan. Sedangkan untuk gaya peredam, dimana b adalah koefiien peredam mempengaruhi besarnya nilai kecepatan massa m pada arah vertikal.

Sehingga

$$F = -b\frac{dy}{dt} \tag{2.2}$$

Tanda negative menunjukan bahwa gaya yang bekerja berlawan dengan arah kecepatan Massa, Dimana :

y = posisi

$\frac{dy}{dt}$ = kecepatan

$\frac{d^2y}{dt^2}$ = percepatan

Persamaan sistem suspensi kendaraan diturunkan berdasarkan persamaan Hukum Newton II sebagai berikut:

$$\sum F = m.a \tag{2.3}$$

Dengan :

F = Gaya

m = Massa

a = Percepatan

Dimana b mempengaruhi kecepatan, k mempengaruhi posisi dan u = F (gaya yang diberikan) , Sehingga :

$$\sum F = m.a$$

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

$$F_d + F_s = m \cdot a$$

$$\left(-b\frac{dx(t)}{dt}\right) + (-kx) = m\frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

$$b\left(\frac{du(t)}{dt} - \frac{dy(t)}{dt}\right) + k(u(t) - y(t)) = m\frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

$$b\left(\frac{du(t)}{dt}\right) - b\left(\frac{dy(t)}{dt}\right) + ku(t) - ky(t) = m\frac{d^2y(t)}{dt^2}$$

$$b\left(\frac{du(t)}{dt}\right) + ku(t) = m\frac{d^2y(t)}{dt^2} + b\left(\frac{dy(t)}{dt}\right) + k(y(t))$$

$$b\dot{u}(t) + k\,u(t) = m\,\ddot{y}(t) + b\dot{y}(t) + k\,y(t) \tag{2.4}$$

dari persamaan 2.4 dilakukan transformasi laplace

$$\mathcal{L}\{b\,\dot{u}(t) + k\,u(t) = m\,\ddot{y}(t) + b\,\dot{y}(t) + k\,y(t)\}$$

Sehingga didapakan fungsi transformasi laplace sebagai berikut :

$$bs\,u(s) + k\,u(s) = ms^2y(s) + bs\,y(s) + k\,y(s)$$

$$(bs + k)\,u(s) = (ms^2 + bs + k)\,y(s)$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{bs + k}{ms^2 + bs + k}$$

Maka diperoeh fungsi alihnya sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{output}{input} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{bs + k}{ms^2 + bs + k}$$

Nilai yang digunakan untuk mensubstitusikan ke dalam fungsi transfer adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Parameter *Quarter Car*

M	550 kg
b	1250 Ns/m
k	22500 N/m

Dari persamaan tabel diatas maka dapat diperoleh fungsi transfer sebagai berikut [7]:

$$G(s) = \frac{1250s + 22500}{550s^2 + 1250s + 22500} \tag{2.5}$$

UIN SUSKA RIAU

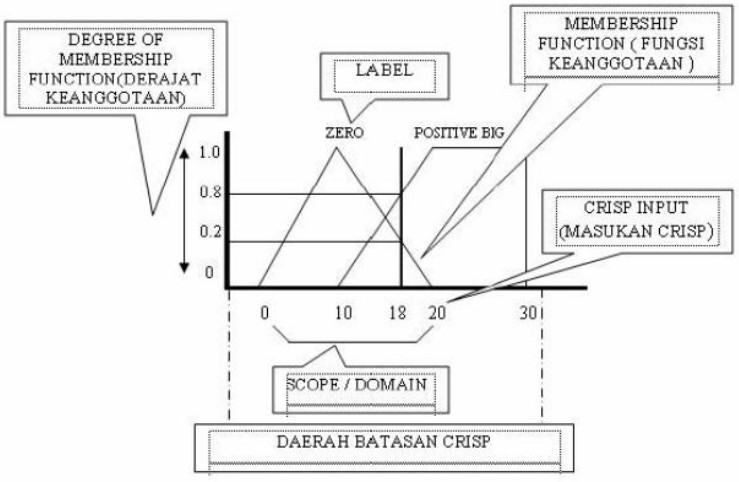
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutipsebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan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

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

2.3 Pengendali Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* merupakan suatu logika atau cara untuk memetakan ruang input ke dalam suatu ruang *output*. merupakan cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Inteligent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika *fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis [14].

Logika *fuzzy* merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing*. Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dasar logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy*, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran dengan logika fuzzy tersebut [14].



Gambar 2.10 Konsep Dasar Logika Fuzzy[14]

1. Derajat keanggotaan (*degree of membership function*) merupakan nilai eksak yang mewakili nilai linguistik. Nilai derajat keanggotaan setiap *terma* ditentukan oleh fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan ini menunjukkan derajat keanggotaan dari sebuah predikat [15].
2. Label (variabel linguistik) merupakan variabel yang memiliki nilai linguistik. Yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami [15].

3. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik – titik *input* data kedalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi [15].

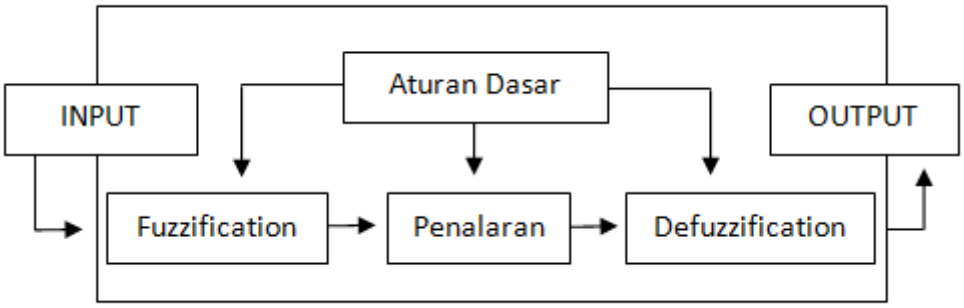
4. *Crisp input* (masukan *crisp*) adalah masukan nilai *input* keanggotaan dalam rentang tertentu.

5. *Scope* / *domain* adalah lebar dalam satu fungsi keanggotaan, rentang fungsi keanggotaan, biasanya rentang dimana fungsi keanggotaan dipetakan.

6. Daerah perbatasan *crisp* merupakan jangkauan seluruh rentang nilai dalam suatu sistem fungsi keanggotaan *fuzzy*.

2.3.1 Aturan Dasar Logika *Fuzzy*

Dalam logika *fuzzy* struktur umum kendali logika *fuzzy* terdiri dari : *fuzzification*, penalaran (sistem inferensi *fuzzy*), dan *defuzzification.*



Gambar 2.11 Struktur Umum Kendali Logika Fuzzy[14]

2.3.1.1 Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi adalah pemetaan nilai *input* yang merupakan nilai tegas ke dalam fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*, untuk kemudian diolah di dalam mesin penalaran. Pada tahap ini akan ditentukan derajat keanggotaan *fuzzy* [15].

2.3.1.1.1 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy [15].

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

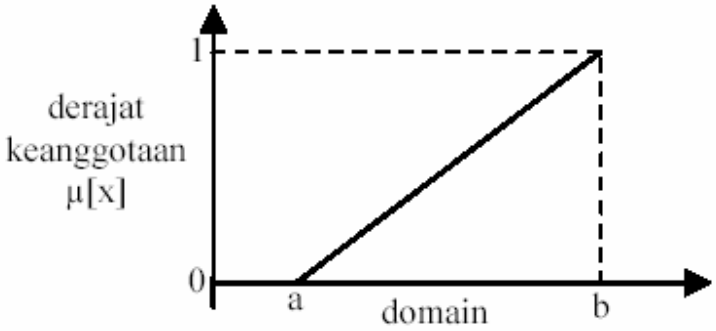
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan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

2.3.1.1.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukan pemetaan titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi [15]. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan yaitu :

1. Representase Linear Naik

Kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi [15].



Gambar 2.12 Representasi Linear Naik[15]

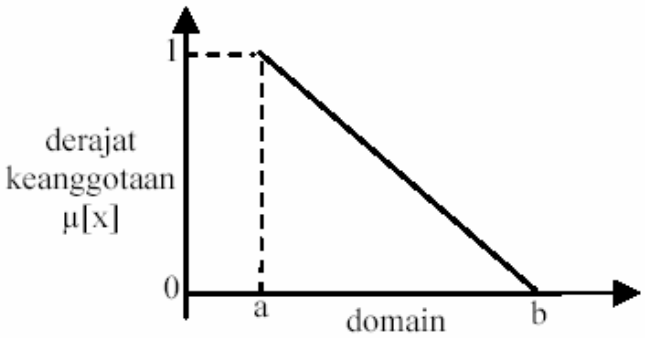
Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \le a \\ (x-a)/(b-a) & a \le x \le b \\ 1; & x \ge b \end{cases} \quad (2.6)$$

2. Representase Linear Turun

Representasi linear turun merupakan kebalikan dari representasi linear naik. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi

kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah [14].



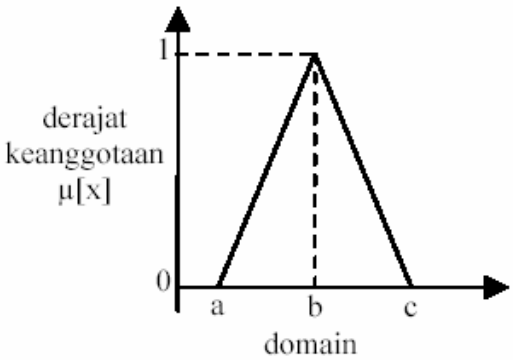
Gambar 2.13 Representasi Linear Turun[15]

Fungsi keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} (b-x)/(b-a); & a \le x \le b \\ 0; & x \ge b \end{cases} \tag{2.7}$$

3. Representasi Kurva Segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis linear.



Gambar 2.14 Representasi Kurva Segitiga[15]

Fungsi keanggotaan :

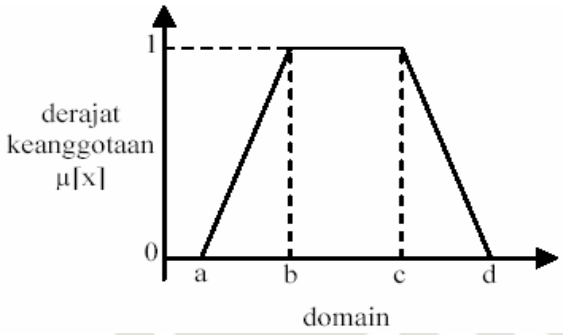
$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \le a \text{ atau } x \ge c \\ (x-a)/(b-a) & a \le x \le b \\ (c-x)/(c-b) & b \le x \le c \end{cases} \tag{2.8}$$

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

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

4. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 [15].



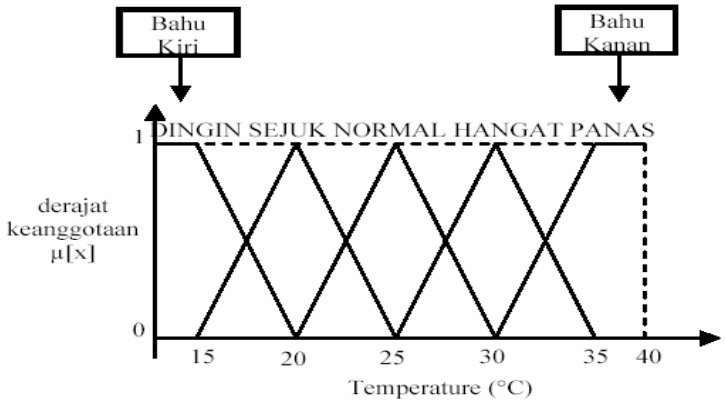
Gambar 2.15 Representasi Kurva Trapesium[15]

Fungsi keanggotaan :

$$\mu[x]=\begin{cases} 0; & x \le a \text{ atau } x \ge d \\ (x-a)/(b-a); & a \le x \le b \\ 1; & b \le x \le c \\ (d-x)/(d-c) & c \le x \le d \end{cases} \quad (2.9)$$

5. Representasi Kurva Bentuk Bahu

Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun .



Gambar 2.16 Representasi Kurva Bentuk Bahu[15]

UIN SUSKA RIAU

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

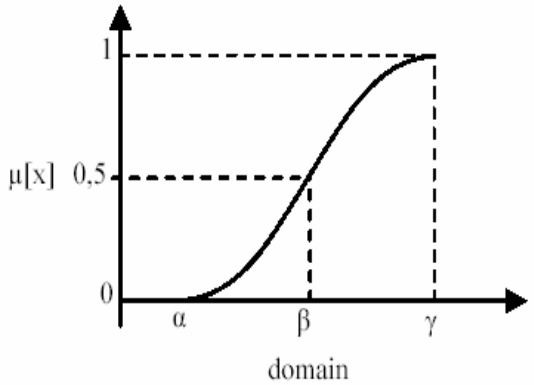
© Hak cipta milik UIN Suska Riau

sumber:

mic University of Sultan Syarif Kasim Riau

6. Representasi Kurva – S

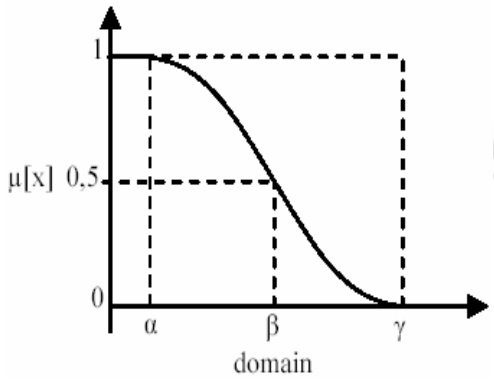
Kurva-S memiliki nilai kenaikan atau penurunan yang tak linear. Ada dua representasi kurva-S, yaitu kurva pertumbuhan dan penyusutan. Kurva-S didefinisikan menggunakan 3 parameter, yaitu: nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau *crossover* (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar [15].



Gambar 2.17 Karakteristik Fungsi Kurva – S Pertumbuhan[15]

Fungsi keanggotaan :

$$S(x;\alpha,\beta,\gamma)=\begin{cases} 0; & x \le \alpha \\ 2((x-\alpha)/(\gamma-\alpha))^2 & \alpha \le x \le \beta \\ 1-2((\gamma-x)/(\gamma-\alpha))^2 & \beta \le x \le \gamma \\ 1 & x \ge \gamma \end{cases} \quad (2.10)$$



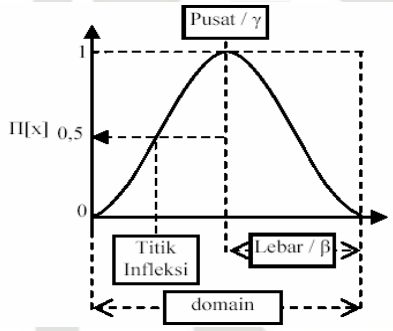
Gambar 2.18 Karakteristik Fungsi Kurva – S Penyusutan[15]

Fungsi keanggotaan :

$$S(x;\alpha,\beta,\gamma)=\begin{cases}1 & x\le\alpha\\ 1-2((x-\alpha)/(\gamma-\alpha))^2 & \alpha\le x\le\beta\\ 2((\gamma-x)/(\gamma-\alpha))^2 & \beta\le x\le\gamma\\ 0 & x\ge\gamma\end{cases} \tag{2.11}$$

7. Representasi Kurva Bentuk Lonceng (*Bell Curve*)

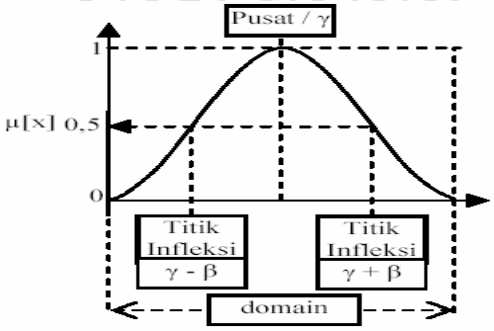
Untuk merepresentasikan himpunan *Fuzzy*, biasanya digunakan kurva bentuk lonceng. Kurva bentuk lonceng ini terbagi atas 3 kelas, yaitu : kurva π, beta, dan gauss. Perbedaan ketiga kurva ini terletak pada gradiennya [15].



Gambar 2.19 Karakteristik Fungsional Kurva π[15]

Fungsi keanggotaan :

$$\Pi(x,\beta,\gamma)=\begin{cases}S(x;\gamma-\beta,\gamma-\beta/2,\gamma) & x\le\gamma\\ 1-S(x;\gamma,\gamma+\beta/2,\gamma+\beta) & x>\gamma\end{cases} \tag{2.12}$$

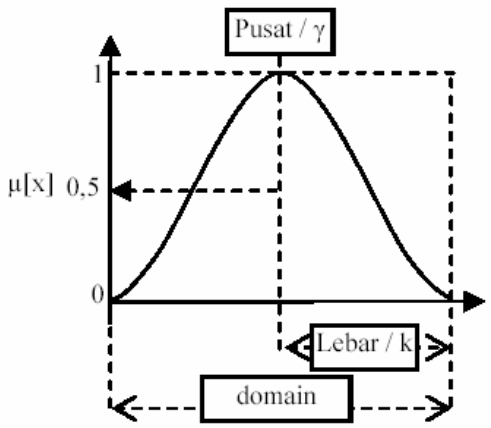


Gambar 2.20 Karakteristik Fungsional Kurva Beta[15]

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

Fungsi keanggotaan :

$$B(x,\beta,\gamma) = \frac{1}{1+\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^2} \quad (2.13)$$



Gambar 2.21 Karakteristik Fungsional Kurva Gauss[15]

Fungsi keanggotaan :

$$G(x;k,\gamma)=e^{-k(\gamma-x)^2} \quad (2.14)$$

2.3.2 Sistem Inferensi *Fuzzy*

Dalam membangun sebuah sistem *fuzzy* dikenal beberapa metode penalaran yaitu metode Tsukamoto, metode Mamdani (*max – min)* dan metode Takagi Sugeno.

2.3.2.1 Metode Tsukamoto

Metode Tsukamoto merupakan perluasan dari penalaran monoton, pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk *If-Then* harus direpresentasikan dengan suatu himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, output hasil penarikan kesimpulan (*inference*) dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α-predikat (*fire strength*). Hasil akhir diperoleh dengan menggunakan rata-rata berbobot (*weight average*) [15].

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

UIN SUSKA RIAU

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

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

2.3.2.2 Metode Mamdani (*Max – Min*)

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode *Max-Min*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 [14]. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan :

1. **Pembentukan himpunan *fuzzy*.**

Pada proses fuzzifikasi langkah pertama adalah menentukan *variable fuzzy* dan himpunan *fuzzy*. Kemudian tentukan derajat kesepadanan (*degree of match*) antara data masukan *fuzzy* dengan himpunan *fuzzy* yang didefenisikan untuk setiap variabel masukan sistem dari setiap aturan *fuzzy*. Pada metode mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy* [15].

2. **Aplikasi fungsi implikasi**

Pada metode mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *Min*. Lakukan implikasi *fuzzy* berdasar pada kuat penyulutan dan himpunan *fuzzy* terdefinisi untuk setiap variabel keluaran di dalam bagian konsekuensi dari setiap aturan. Hasil implikasi *fuzzy* dari setiap aturan ini kemudian digabungkan untuk menghasilkan keluaran infrensi *fuzzy* [15].

3. **Komposisi Aturan**

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu: *max, additive* dan probabilistik OR [15].

4. **Penegasan (*defuzzy*)**

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output* [15].

UIN SUSKA RIAU

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

2.3.2.3 Metode Sugeno

Penalaran dengan metode Sugeno hampir sama dengan penalaran Mamdani, hanya saja *output* (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985, sehingga metode ini sering juga dinamakan dengan metode TSK [15].

2.3.3 Defuzzyfikasi (Penegasan)

Defuzzyfikasi merupakan langkah terakhir dalam proses sistem *fuzzy*. Hasil dari defuzzyfikasi ini merupakan langkah yang diambil oleh sistem kendali *fuzzy*. Pada proses ini hasil dari inferensi *fuzzy* diubah kebentuk tegas (*crisp*). Ada beberapa metode defuzzyfikasi antara lain [15] :

2.3.3.1 Metode *Centroid*

Metode *centroid* dilakukan dengan mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Secara umum dirumuskan dengan :

$$z = \frac{\int z\mu(z)dz}{\int \mu(z)dz} \quad \text{atau} \quad z = \frac{\sum_{j=1}^{n} z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^{n} \mu(z_j)} \tag{2.15}$$

2.3.3.2 Metode *Bisector*

Metode *bisector* dilakukan dengan mengambil nilai dari domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari nilai keanggotaan *fuzzy*. Secara dirumuskan dengan :

$$z_p _ sedemikian _ hingga __ \int_{R1}^{p} \mu(z)dz = \int_{p}^{Rn} \mu(z)dz \tag{2.16}$$

2.3.3.3 Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Metode MOM dilakukan dengan mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

2.3.3.4 Metode *Largest of Minimum* (LOM)

Metode LOM dilakukan dengan mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

2.3.3.5 Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

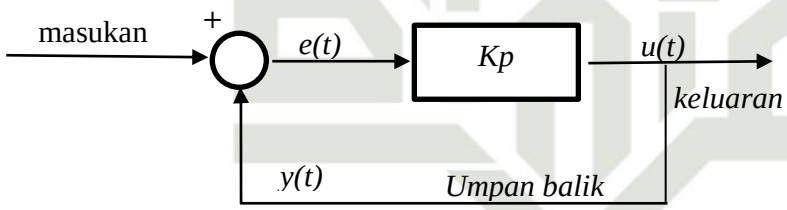
Metode LOM dilakukan dengan mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

2.4 *Proportional, Integral, Derivative* (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kendali Proporsional, Integral, dan Diferensial dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya menjadi kendali proporsional *plus* integral *plus* diferensial (kendali PID). Elemen-elemen pengendali P, I, dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal besar.

2.4.1 *Proportional*

Kendali proposional memiliki keluaran yang sebanding atau proposional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kendali proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Blok diagram kendali proporsional ini ditunjukkan pada Gambar 2.16. Persamaan matematis kendali proporsional ditunjukkan pada Persamaan 2.8.



Gambar 2.16. Diagram Blok Kendali *Proportional*[10]

$$u(t) = K_p e(t) \tag{2.8}$$

Dimana KP adalah konstanta proporsional. Ciri-ciri kendali proporsional harus diperhatikan ketika kendali tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna kendali proporsional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini:

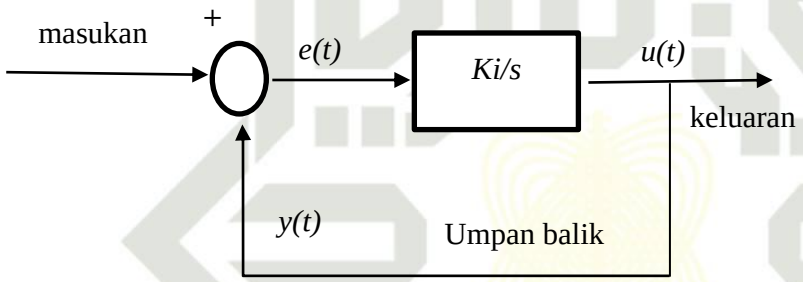
1. Jika nilai Kp kecil, kendali proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Jika nilai Kp dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya *(steady state)*.

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

3. Jika jika nilai Kp diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.

2.4.2 *Integral*

Kendali integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan tunak *(error steady state)* nol. Jika sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator*, kendali proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan tunaknya nol. Dengan kendali integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Gambar 2.17, menampilkan diagram blok kendali integral dengan masukan E(s) dan keluaran U(s).



Gambar 2.17. Diagram Blok Kendali *Integral*[16].

Pengendali integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran pengendali sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Persamaan matematis kendali integral ditunjukkan pada Persamaan 2.55.

$$u(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)\ dt \qquad (2.9)$$

Konsekuensi dengan memperbesar *gain* integral atau memperkecil konstanta waktu integral dapat membuat sistem lebih cepat "mengejar" nilai keadaan tunak, namun sistem cenderung akan berosilasi. Dalam keadaan seperti ini, diperlukan sebuah metode yang dapat memperkecil amplitudo osilasi dan nilai *overshoot* dari respon. Ketika digunakan, pengendali integral mempunyai beberapa karakteristik, antara lain :

1. Keluaran pengendali membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengendali integral cenderung memperlambat respon.

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

2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengendali akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahant idak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai *Ki*.
4. Konstanta integral *Ki* yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset.* Tetapi semakin besar nilai konstanta *Ki* akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengendali.

2.4.3 Pengendali *Derivative*

Secara intuitif, respon sistem yang berosilasi disebabkan pada beberapa hal. Proses dinamik dari sebuah *plant* menyebabkan respon sebuah *plant* tidak langsung berubah dengan adanya perubahan sinyal kendali, namun membutuhkan waktu proses. Waktu ini akan membuat sistem kendali mengalami keterlambatan untuk mengkoreksi kesalahan. Untuk itu dibutuhkan pengendali yang dapat memprediksi kesalahan dari sebuah sistem seperti pada Gambar 2.17. Nilai kesalahan prediksi dapat diturunkan dari persamaan taylor sebagai berikut.

$$e(t + Td) \approx e(t) + Td\,\frac{de\,(t)}{dt} \tag{2.10}$$

Dengan mengatur gradien dari garis prediksi, maka akan diperoleh kesalahan prediksi yang lebih akurat, dan persamaan menjadi:

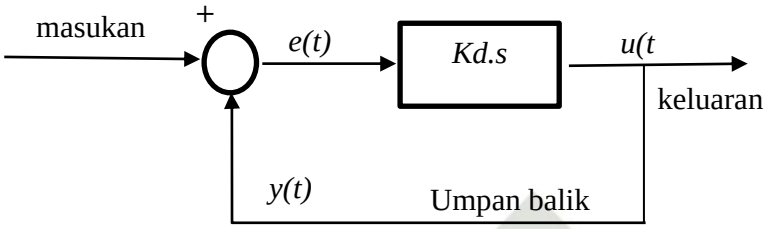
$$u(t) = K_p\,(e(t) + Td\,\frac{de\,(t)}{dt}) \tag{2.11}$$

Sebagai validasi, seperti yang telah dipaparkan bahwa osilasi dari respon sistem terjadi karena sinyal kontrol berlebihan yang diberikan ke *plant*. Maka diperlukan mekanisme untuk mengurangi nilai sinyal kontrol yang berlebihan tersebut. Kontroler derivatif yang ditambahkan pada kontroler proporsional dapat mengurangi aksi kontrol yang berlebihan.

Dapat dilihat bahwa keadaan awal saat sistem memiliki kesalahan positif maka kontroler proporsional akan berusaha mengejar nilai *setpoint*. Dengan adanya respon tersebut, maka perubahan kesalahan proporsional dengan negatif kesalahan. Hal ini akan membuat kontroler derivatif akan berusaha meredam aksi kontroler proporsional yang berlebihan. Berkurangnya nilai sinyal kontrol akan berdampak pada kecepatan respon

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

sistem yang semakin berkurang. Gambar 2.17 menampilkan diagram blok kontrol derivative.



Gambar 2.18. Diagram Blok Kendali *Derivatif*

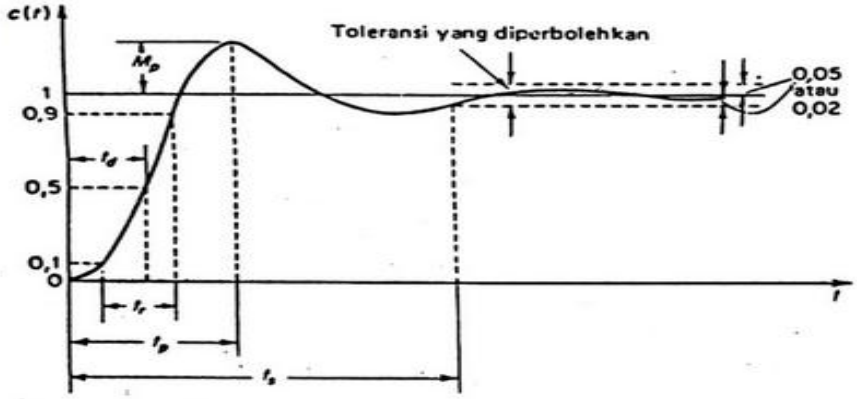
Ketika digunakan, kontroler derivatif mempunyai beberapa karakteristik, antara lain:

1. Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan kontroler tergantung pada nilai Kd dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Kontroler derivatif mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi kontroler derivatif dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

2.5. Identifikasi Sistem

Respon sistem atau tanggapan sistem adalah perubahan perilaku *output* terhadap perubahan sinyal *input*. Respon sistem berupa kurva ini akan menjadi dasar untuk menganalisa karakteristik *system* selain menggunakan persamaan atau model matematika. Bentuk kurva respon sistem dapat dilihat setelah mendapatkan sinyal *input*. Sinyal *input* yang diberikan untuk mengetahui karakteristis *system* disebut sinyal test.

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



Gambar 2.19 Respon Transient [18]

1. **Konstanta Waktu**

   Ukuran waktu yang di ukur melalui respon fungsi selubung yaitu mulai t = 0 s/d respon mencapai 63,2% (e1x100%) dari respon *steady state*. t =1/XW N

2. ***Rise Time***

   Ukuran waktu yang di ukur mulai respon mulai t= 0 s/d respon memotong sumbu *steady state* yang pertama.

3. ***Settling Time***

   Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5% atau 2% atau 0,5% dari respon *steady state.*

4. ***Delay Time***

   Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon *output* terhadap input, di ukur mulai t = 0 s/d respon mencapai 50% dari respon *steady state.*

5. ***Overshoot***

   Nilai relatif yang menyatakan perbandinganharga maksimum respon yang mela mpaui harga *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*.

6. ***Time Peak***

   Ukuran waktu diukur mulai t = 0 s/d respon mencapai puncak yang pertama kali (paling besar).

2.6. MATLAB

MATLAB atau yang kita sebut dengan (*Matrix Laboratory*) yaitu sebuah program untuk menganalisis dan mengkomputasi data numerik, dan MATLAB juga merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan, yang dibentuk dengan dasar pemikiran yang menggunakan sifat dan bentuk matriks.

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

MATLAB yang merupakan singkatan dari *Matrix Laboratory*, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc*. yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++.

Gambar 2.20 Ikon MATLAB

Pada awalnya program aplikasi MATLAB ini merupakan suatu *interface* untuk koleksi rutin-rutin numerik dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan dengan menggunakan bahasa FORTRAN, namun sekarang ini MATLAB merupakan produk komersial dari perusahaan *Mathworks, Inc*.

Yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan dengan menggunakan bahasa C++ dan *assemble*, (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB). MATLAB telah berkembang menjadi sebuah *environment* pemprograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi *built-in* untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga menyediakan berbagai fungsi untuk menampilkan data, baik dalam bentuk dua dimensi maupun dalam bentuk tiga dimensi.

MATLAB juga bersifat *extensible*, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk menambahkan pada *library*, ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila kita telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, PASCAL, atau FORTRAN.

MATLAB (*Matrix Laboratory*) yang juga merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks, sering kita gunakan untuk teknik komputasi numerik, yang kita gunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dll. Sehingga Matlab banyak digunakan pada :

1. Matematika dan komputansi
2. Pengembangan dan algoritma,
3. Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe,
4. Analisa data, eksplorasi dan visualisasi,

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

5. Analisis numerik dan statistik,
6. Pengembangan aplikasi teknik,

MATLAB juga merupakan bahasa pemrograman komputer berbasis *window* dengan orientasi dasarnya adalah matrik, namun pada program ini tidak menutup kemungkinan untuk pengerjaan permasalahan non matrik. Selain itu matlab juga merupakan bahasa pemrograman yang berbasis pada obyek (OOP), namun disisi lain karena matlab bukanlah type compiler, maka program yang dihasilkan pada matlab tidak dapat berdiri sendiri. Namun agar hasil program dapat berdiri sendiri maka harus dilakukan transfer pada bahasa pemrograman yang lain, misalnya C++. Pada matlab terdapat tiga *windows* yang digunakan dalam operasinya yaitu ;

1. *Command windows* (layar perintah)
2. *Figure windows* (layar gambar),

2.6.1 Fungsi dari setiap window MATLAB

2.6.1.1 MATLAB Command window/editor

MATLAB *Command window* atau *editor* merupakan window yang muncul ketika kita membuka pertama kali setiap kita menjalankan aplikasi MATLAB, Pada window kita dapat melakukan akses-akses ke *command-command* MATLAB dengan cara mengetikkan barisan-barisan ekpresi MATLAB, seperti mengakses *help window* dan lain-lainnya. *Command Window* (layar perintah) dapat kita gunakan untuk menjalankan program atau perintah yang dibuat pada layar *editor* matlab. Pada *windows* atau layar ini kita dapat mengakses perintah maupun komponen pendukung (*help file* dll) yang ada di matlab secara langsung. Salah satu cirri dari *command windows* ditandai dengan tanda prompt (>>).

2.6.1.2 MATLAB *Editor* atau *Debugger* (*Editor* M-File atau Pencarian Kesalahan)

Window ini merupakan tool yang disediakan oleh Matlab 5 keatas. Berfungsi sebagai *editor script* Matlab (M-file). Walaupun sebenarnya script ini untuk pemrograman MATLAB dapat saja menggunakan *editor* yang lain seperi *notepad*, wordpad bahkan *word*. Untuk mengakses *window* m-file ini dapat kita lakukan dengan cara :

1. Memilih menu *File* - kemudian pilih *New*
2. Pilih *M-file*, maka MATLAB akan menampilkan *editor window*: selain dengan cara di atas untuk menampilkan editor *M-file* ini, kita dapat juga melakukanya dengan cara : *>> edit*

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

2.6.1.3 *Figure Windows*

Window ini merupakan hasil visualisasi dari *script* MATLAB. Namun MATLAB memberi kemudahan bagi programer untuk mengedit *window* ini sekaligus memberikan program khusus untuk itu. Sehingga *window* ini selain berfungsi sebagai visualisasi *output* dapat juga sekaligus menjadi media *input* yang interaktif.

2.6.1.4 MATLAB *help window*

MATLAB juga menyediakan sistem *help* yang dapat diakses dengan perintah *help*.

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

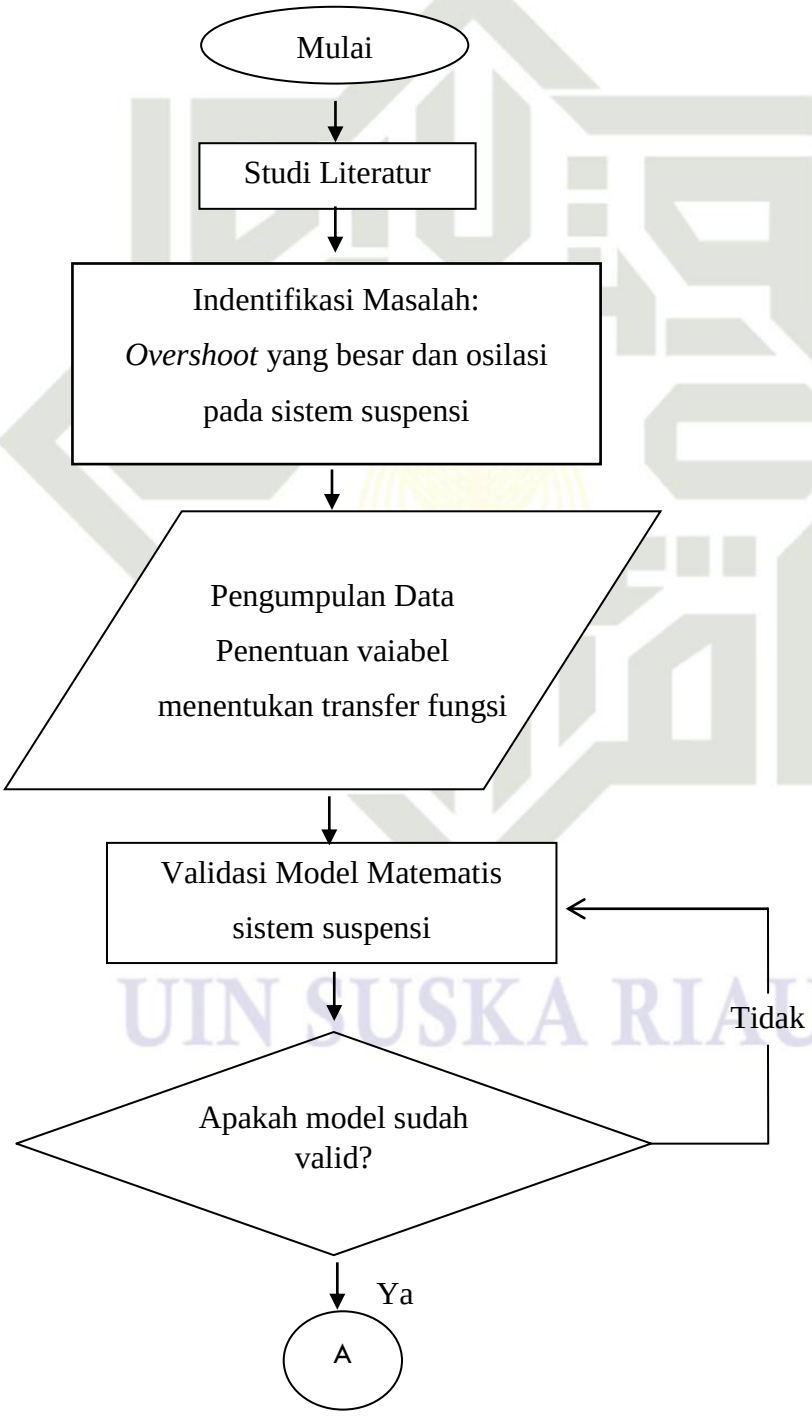
© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya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

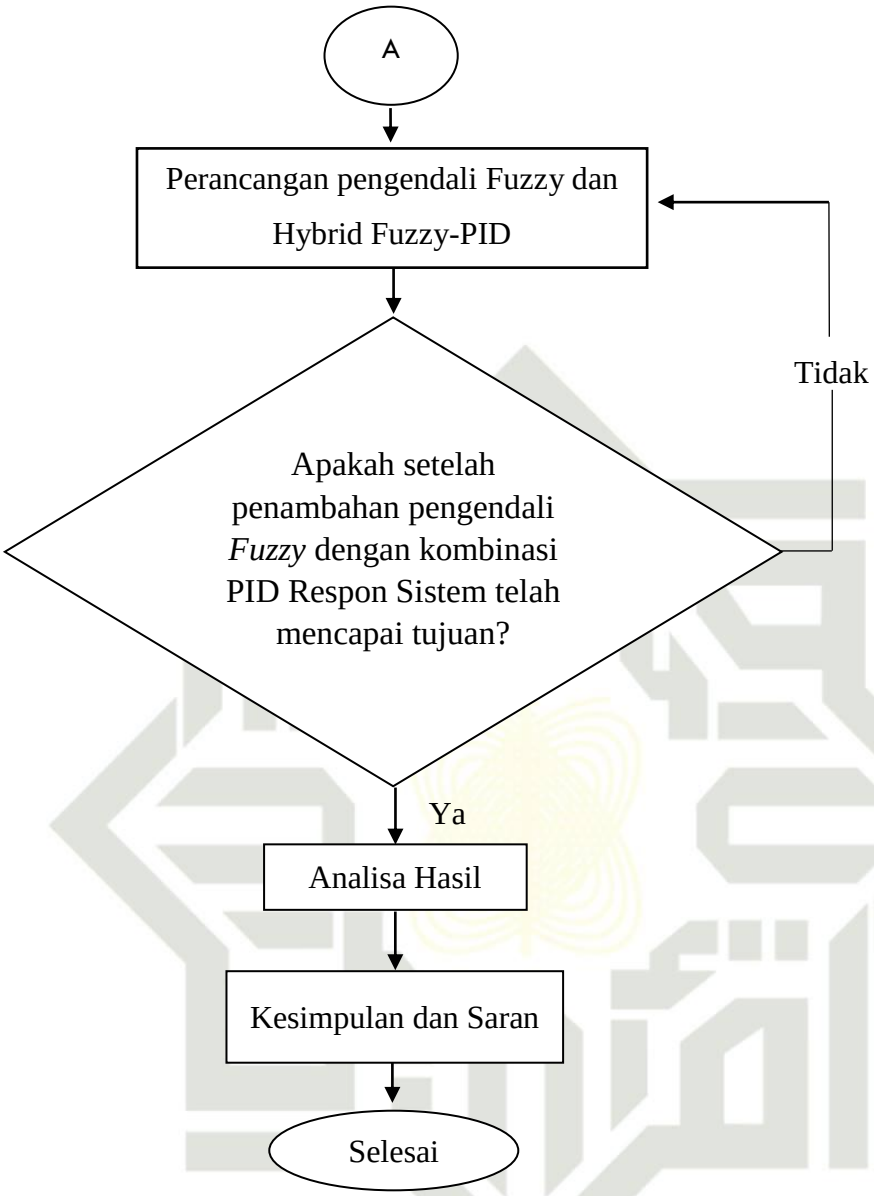
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam BAB ini dijabarkan tentang alur dan tahapan penelitian. Alur penelitian dimulai dengan studi literatur,pengumpulan data,validasi model matematis, perancangan pengendali Logika *Fuzzy*, analisa hasil, kesimpulan dan saran.

3.1 Proses Alur Penelitian





Gambar 3.1. *Flow Chart* Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, penulis terlebih dahulu melakukan identifikasi masalah tentang pengendalian pada sistem suspensi seperempat kendaraan yang tidak stabil agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan. Sehingga, dibutuhkan sebuah pengendali agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan dan memberikan kenyamanan bagi pengguna . Perencanaan dalam penelitian ini meliputi penentuan judul pengujian *plant*

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

sampai dengan tujuan yang diinginkan dari suatu penelitian sehingga terdapat beberapa tahap perencanaan yang harus dilakukan yaitu :

3.2.1 Studi Literatur

Mencari dan mempelajari referensi yang terkait dengan tema yang dibahas pada penelitian tugas akhir ini, yaitu mengenai pemodelan matematis suspensi seperempat kendaraan dan pengendali Fuzzy dengan kombinasi PID baik dari jurnal, artikel penelitian yang telah dipublikasikan di internet maupun buku – buku.

3.2.2 Pengumpulan Data pra-Disain.

Pada tahap ini, pengumpulan data pra-disain dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sistem yang akan diteliti meliputi data *setpoint* sebesar 1m dan ketetapan *transfer function* persamaan 2.2 pada sistem[7] yaitu $G(s)=\frac{y(s)}{u(s)}=\frac{bs+k}{ms^2+bs+k}$

dengan parameter seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Parameter Suspensi Seperempat Kendaraan[7]

M	550 kg
B	1250 Ns/m
K	22500 N/m

3.2.3 Penentuan Variabel

Data-data yang sudah didapatkan dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* berdasarkan persamaan 2.2 berbentuk [7]:

$$G(s)=\frac{y(s)}{u(s)}=\frac{1250s+22500}{550s^2+1250s+22500} \tag{3.1}$$

3.2.4 Validasi Pemodelan dan Pengujian Matematis Suspensi Seperempat Kendaraan

Validasi pemodelan dan pengujian *plant* adalah tahap pengujian model matematis dalam bentuk *transfer function* dari sistem suspensi seperempat kendaraan yang sudah dirubah kedalam bentuk bahasa pemograman *matlab simulink* guna divalidasi bentuk keluarannya, apakah hasil keluarannya sudah sesuai dengan rujukan

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

3.2.5 Desain Pengendali Cerdas Logika *Fuzzy* dengan Kombinasi PID

Untuk merancang pengendali Fuzzy dengan kombinasi PID, langkah awal adalah melakukan penyusunan *rulebase* yang akan digunakan, parameter plant tidak berubah. Namun parameter plant akan digunakan untuk dasar pembuatan skema kendali. Selanjutnya melakukan perancangan pengendali *Fuzzy* dengan kombinasi PID.

3.2.6 Analisa Hasil

Pada tahap ini penulis akan melakukan analisa hasil dari pengujian sistem suspensi seperempat kendaraan menggunakan pengendali cerdas Logika *Fuzzy* yang sudah dikombinasikan dengan pengendali PID. Apakah respon yang di dapat sudah optimal atau belum. Karakteristik respon yang diharapkan adalah *rise time* yang cepat dan stabil tanpa adanya overshoot dan osilasi.

3.2.7 Kesimpulan

Pada tahap ini penulis mengklarifikasi hasil desain tersebut terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Apabila telah memenuhi tujuan berarti penelitian telah berhasil, dan apabila belum memenuhi tujuan, maka perlu dilakukan pemeriksaan kembali pada perancangan pengendalinya. Setelah hasil sudah sesuai dengan tujuan diawal dan masalah dapat diselesaikan

3.3 Pengumpulan Data

Untuk perancangan kendali Fuzzy-PID, persamaan yang digunakan adalah persamaan *transfer function* (2.2), dengan nilai *setpoint* Percepatan massa kendaraan sebesar =1m/s^2. Sesuai yang tertera pada jurnal rujukan yang berjudul Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspension System Using Genetic Algorithm [7].

3.4 Penentuan Variabel

Data data yang sudah di dapatkan dibuat dalam model matematis berbentuk persamaan *transfer function* berdasarkan persamaan 2.2 sebagai berikut[7]

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{bs + k}{ms^2 + bs + k}$$

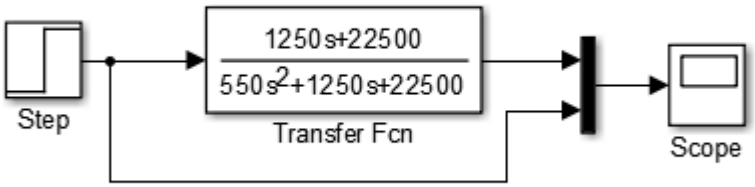
Bentuk *transfer function* diatas dapat juga dituliskan menjadi[1] :

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1250s + 22500}{550s^2 + 1250s + 22500} \qquad (3.2)$$

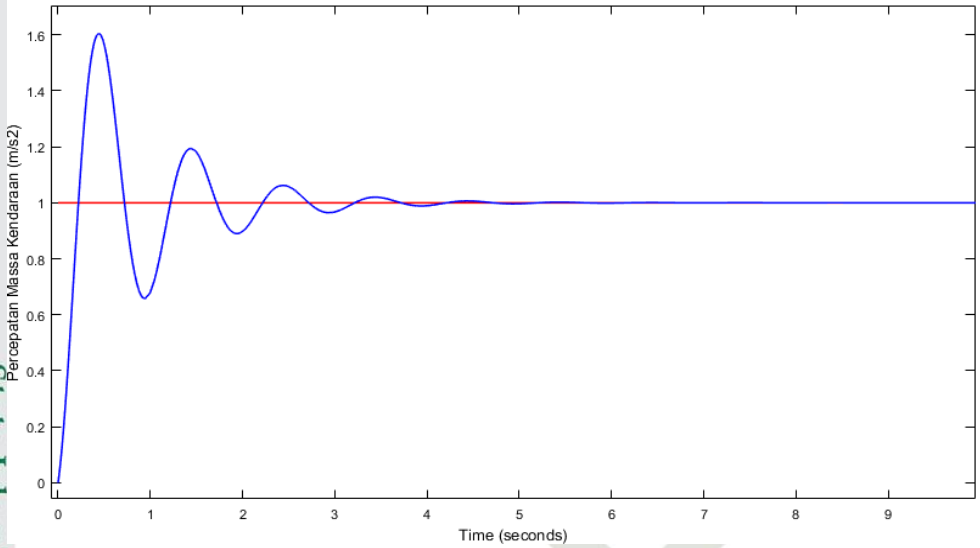
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutipsebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.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

3.5 Validasi Model Matematis

Gambar 3.2 merupakan blok simulink pengujian sistem suspensi seperempat kendaraan secara *open loop* tanpa pengendali untuk mengetahui perilaku dan karakteristik dari sistem sebelum dirancang pengendali.



Gambar 3.2 Blok *Simulink* Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan



Gambar 3.3 Respon Sistem Suspensi Seperempat Kendaraan Secara *Open Loop*

Gambar 3.3 merupakan hasil respon dari sistem suspensi seperempat kendaraan *open loop* tanpa menggunakan pengendali yang disimulasikan dan hasil respon keluaran sistem menunjukkan grafik telah sesuai dengan rujukan. Terlihat bahwa respon tidak stabil dan terdapat osilasi dan *overshoot*. Sehingga berdasarkan pengujian simulasi tanpa pengendali maka sistem suspensi seperempat kendaraan perlu di pasangkan pengendali yang dapat menghilangkan osilasi dan *overshoot* dalam pengendalian getaran pada sistem suspensi.

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

UIN SUSKA RIAU

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

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

3.6 Perancangan Kendali *Fuzzy*

Pada penelitian tugas akhir ini pengendali *fuzzy* yang digunakan yaitu menggunakan metode *fuzzy* mamdani. Untuk merancang pengendali *fuzzy* diperlukan 3 tahapan yaitu :

3.6.1 Fuzzyfikasi

Proses fuzzyfikasi merupakan penentuan derajat keanggotaan dari masukan nilai tegas (*crisp input*) pada sebuah himpunan *fuzzy*. Pada perancangan tugas akhir ini input dan kontrol logika *fuzzy* ini adalah *error* dan *delta error* atau perubahan kesalahan (*change of error*). Nilai error sistem pada penelitian ini didapat dari persamaan berikut :

$$Error = SP - PV \tag{3.1}$$

Dimana :

SP (setpoint) = Masukan nilai yang diinginkan

PV (present value) = nilai aktual / nilai respon *steady state* saat ini

Dan untuk mendapatkan nilai delta error sistem mengikuti persamaan berikut :

$$Delta\ error = Error(n) - Error(n\text{-}1) \tag{3.2}$$

Dimana :

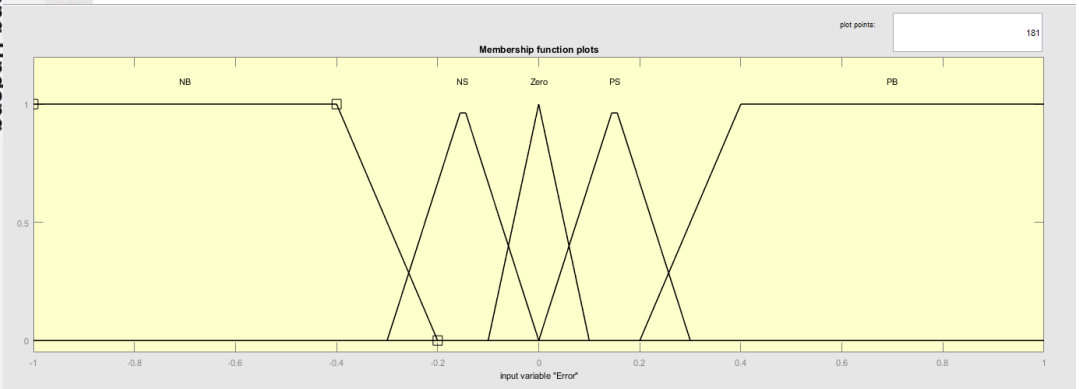
Error(n) = error saat ini

Error(n-1) = error sebelumnya

Error merupakan selisih antara nilai posisi referensi yang di inginkan (*setpoint*) dengan nilai respon aktual suspensi saat ini. Perubahan *error* merupakan selisih *error* sekarang dengan *error* sebelumnya. Fungsi keanggotaan *fuzzy* yang digunakan yaitu segitiga (*triangle*) dan trapesium (*trapezium*). Himpunan *fuzzy* tediri dari dua variabel masukan yaitu *error* dan *delta error* dan satu variabel keluaran. *Output* dari kontrol logika *fuzzy* ini adalah aksi dari kontrol U. Langkah selanjutnya yang akan dilakukan adalah menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*).

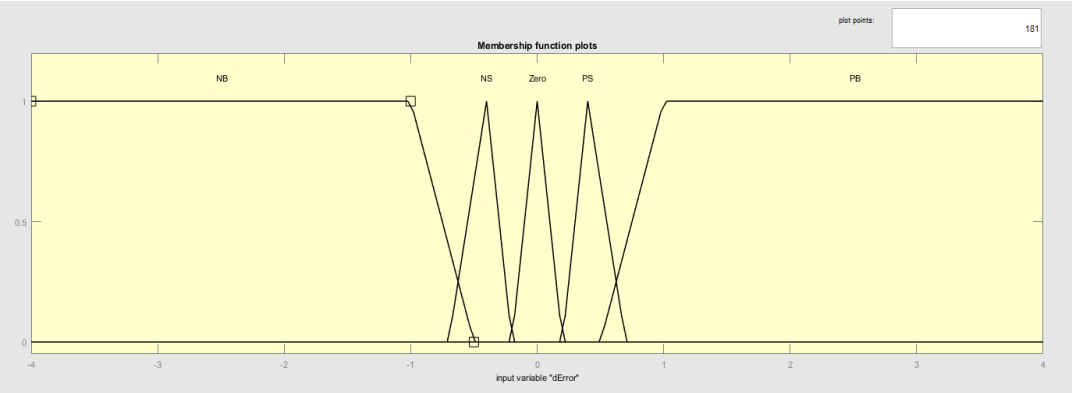
Penentuan nilai fungsi keanggotaan pada variabel masukan *error* dan *delta error* dengan melihat respon sistem yaitu metode heuristic. Semakin besar jumlah fungsi keanggotaan pengaturan kontroler *fuzzy* akan lebih teliti tetapi membutuhkan waktu proses yang lebih lama. Tipe *membership function* yang digunakan adalah jenis trapesium, dan segitiga. Penggunaan jenis trapesium untuk mencari nilai rata kiri dan kanan. Kemudian penggunaan jenis segitiga untuk mencari nilai rata tengah.

Nilai output system suspensi harus mencapai *setpoint* yg diinginkan yaitu 1 m/s^2. Variabel masukan *error* akan bernilai negatif jika nilai percepatan massa suspensi berada diatas nilai *setpoint* yang diinginkan, dan bernilai positif jika nilai percepatan massa suspensi dibawah nilai *setpoint.* Fungsi keanggotaan *Error* memiliki jangkauan -1 hingga 1. Fungsi keanggotaan error terdiri dari lima yaitu NB (Negative big), NS (Negative Small), Z (Zero) dan PS (Positif Small), PB(Positif Big).



Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan *input error*

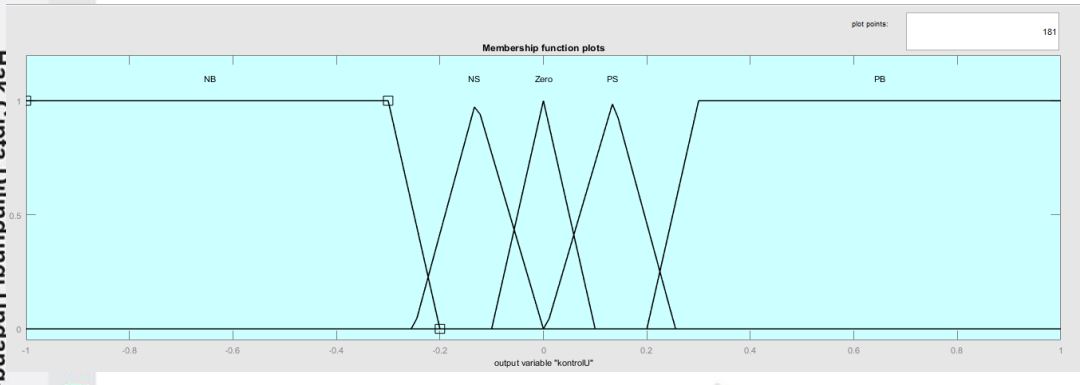
Fungsi keanggotaan d*Error* memiliki jangkauan -4 hingga 4 . Fungsi keanggotaan error terdiri dari lima yaitu NB (Negative big), NS (Negative Small), Z (Zero) dan PS (Positif Small), PB(Positif Big).



Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan input *delta error*

Sedangkan untuk variabel keluaran juga memiliki lima fungsi keanggotaan sebagai aksi kontrol U dalam mengendalikan *overshoot* pada system suspensi yang terdapat pada gambar 3.6 berikut :

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



Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan Output Kontrol U

Pada perancangan ini, aturan fuzzy berdasarkan area dan heuristik untuk sinyal kendali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut :

3.6.2 Perancangan Aturan Logika *Fuzzy* (*Rules Base*)

Dasar pembuatan *Rules base* ini sebagai pengambil keputusan keluaran dari logika *fuzzy*, berikut tabel perancangan *Rules base* untuk pengendali pada sistem suspensi sepempat kendaraan.

Tabel 3.2. *Rules base* pengendali *fuzzy*

Error / *Delta Error*	*NB*	*NS*	*Zero*	*PS*	*PB*
NB	*NB*	*NB*	*NB*	*NS*	*Zero*
NS	*NB*	*NB*	*NS*	*Zero*	*PS*
Zero	*NB*	*NS*	*Zero*	*PS*	*PB*
PS	*NS*	*Zero*	*PS*	*PB*	*PB*
PB	*Zero*	*PS*	*PB*	*PB*	*PB*

Keterangan :

If (Error is NB) and (dError is NB) then (kontrolU is NB)

If (Error is NB) and (dError is NS) then (kontrolU is NB)

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

If (Error is NB) and (dError is Zero) then (kontrolU is NB)
If (Error is NB) and (dError is PS) then (kontrolU is NS)
If (Error is NB) and (dError is PB) then (kontrolU is Zero)
If (Error is NS) and (dError is NB) then (kontrolU is NB)
If (Error is NS) and (dError is NS) then (kontrolU is NB)
If (Error is NS) and (dError is Zero) then (kontrolU is NS)
If (Error is NS) and (dError is PS) then (kontrolU is Zero)
If (Error is NS) and (dError is PB) then (kontrolU is PS)
If (Error is Zero) and (dError is NB) then (kontrolU is NB)
If (Error is Zero) and (dError is NS) then (kontrolU is NS)
If (Error is Zero) and (dError is Zero) then (kontrolU is Zero)
If (Error is Zero) and (dError is PS) then (kontrolU is PS)
If (Error is Zero) and (dError is PB) then (kontrolU is PB)
If (Error is PS) and (dError is NB) then (kontrolU is NS)
If (Error is PS) and (dError is NS) then (kontrolU is Zero)
If (Error is PS) and (dError is Zero) then (kontrolU is PS)
If (Error is PS) and (dError is PS) then (kontrolU is NB)
If (Error is PS) and (dError is PB) then (kontrolU is PB)
If (Error is PB) and (dError is NB) then (kontrolU is Zero)
If (Error is PB) and (dError is NS) then (kontrolU is PS)
If (Error is PB) and (dError is Zero) then (kontrolU is PB)
If (Error is PB) and (dError is PS) then (kontrolU is PB)
If (Error is PB) and (dError is PB) then (kontrolU is PB)

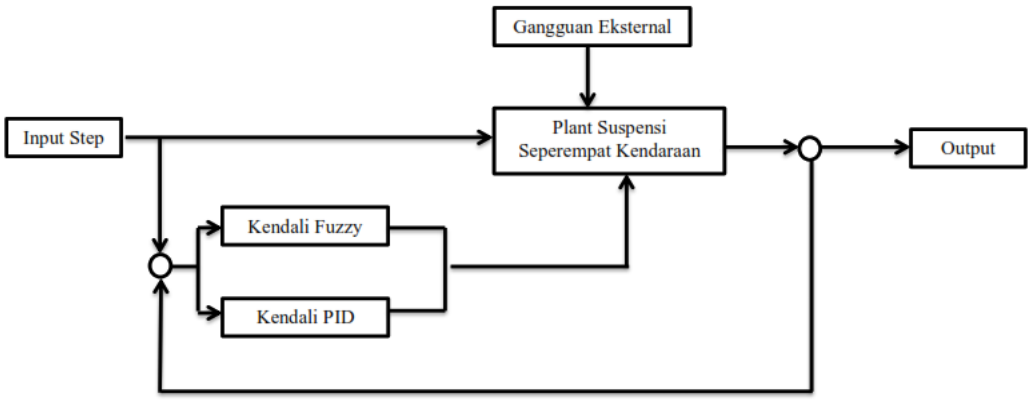
3.6.3 Proses Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi merupakan proses pemetaan himpunan fuzzy ke himpunan tegas yang merupakan aksi dari kontrol U. Proses ini merupakan kebalikan dari proses *fuzzyfikasi* sebelumnya. Pada metode Mamdani berbagai macam metode dapat digunakan. Tetapi pada tugas akhir ini metode defuzzyfikasi yang digunakan adalah metode titik tengah (centroid method) yang telah dijelaskan pada bab II yaitu pada persamaan 2.15.

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

3.7 Blok Diagram Alur Perancangan Simulasi

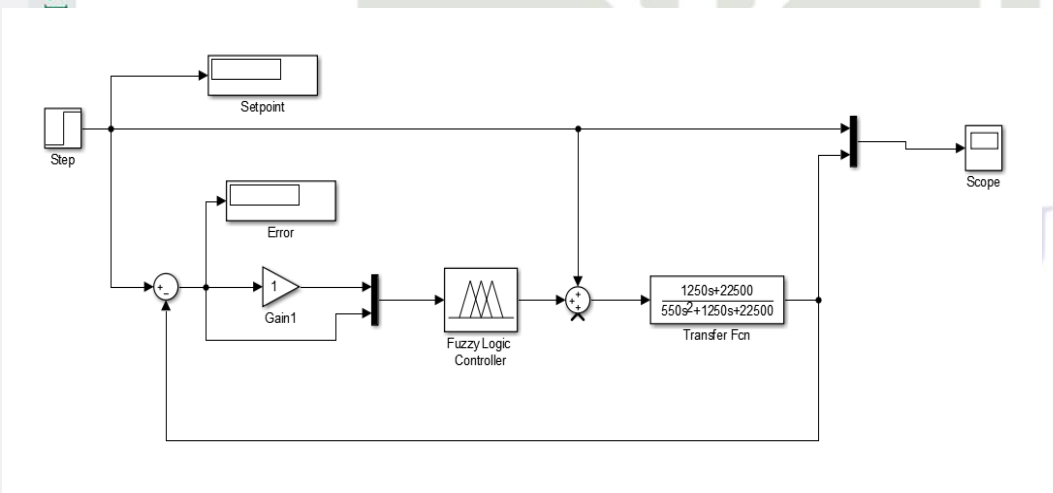
Sebelum melakukan perancangan pada Simulink matlab, maka terlebih dahulu dilakukan perancangan alur diagram simulasi sebagaimana gambar berikut :



Gambar 3.7 Diagram blok alur perancangan simulasi

3.8 Perancangan Pengendali *Fuzzy* pada MATLAB

Perancangan pengendali *fuzzy* didesain menggunakan *Fuzzy Logic Toolbox* (FLT) yang ada pada MATLAB. Setelah pengendali logika *fuzzy* dirancang, selanjutnya dilakukan pembuatan diagram blok Simulink sistem suspensi menggunakan pengendali *fuzzy*. Gambar 3.7 memperlihatkan perancangan blok diagram suspensi menggunakan pengendali *fuzzy* pada Simulink MATLAB.

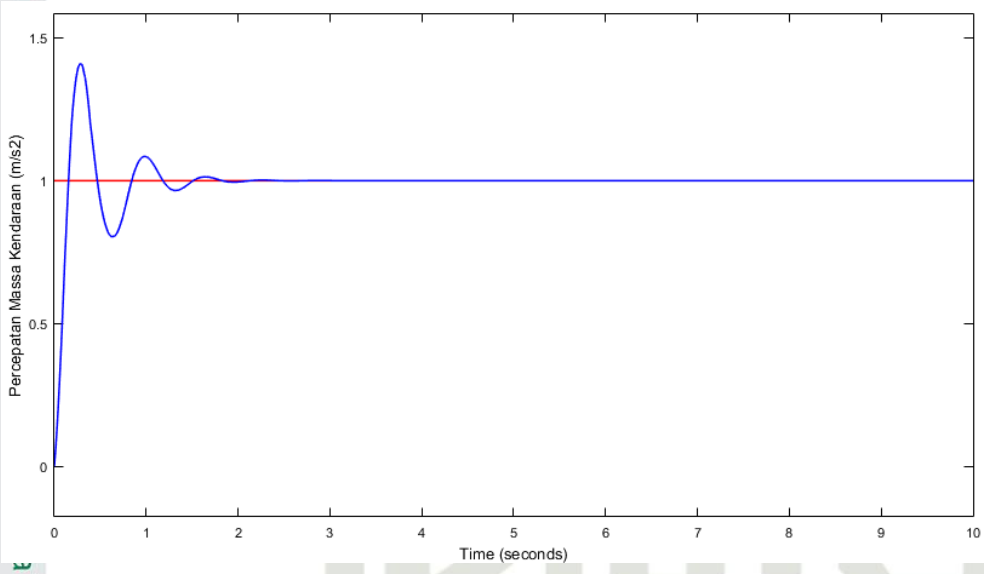


Gambar 3.8 Diagram Blok sistem suspensi dengan *Fuzzy Logic* pada Simulink

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

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

Hasil respon pada sistem menggunakan pengendali *Fuzzy* pada *simulink* matlab:

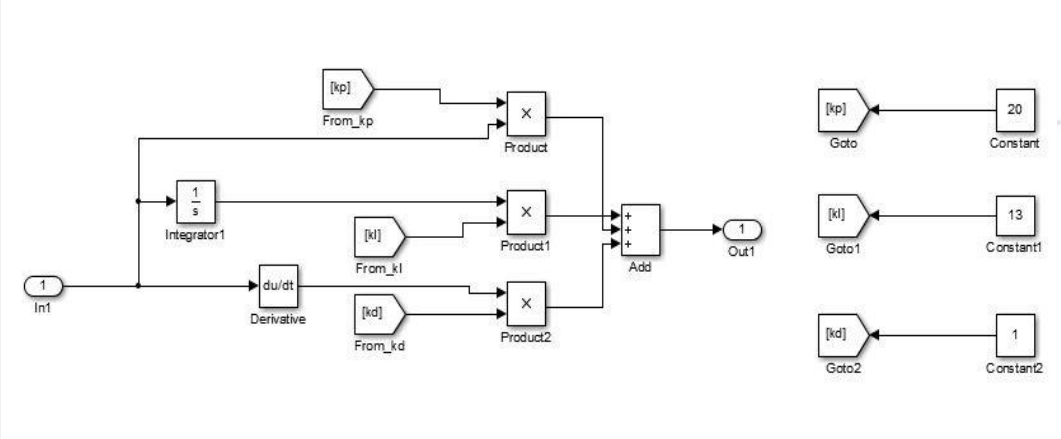


Gambar 3.9 Grafik respon sistem suspensi dengan *Fuzzy Logic*

Dari hasil simulasi sistem suspensi seperempat kendaraan menggunakan kendali cerdas logika *fuzzy*, masih menunjukkan adanya *overshoot* sebesar 42.14%. dan menghasilkan *rise time* yang sedikit lambat yaitu 1.15 detik tanpa adanya *error steady state* dengan total waktu simulasi 10 detik.

3.9 Perancangan Pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID)

Berdasarkan studi literatur yang telah ditentukan maka desain pengendali PID dapat dibuat dengan bentuk *simulink* yang terdapat pada gambar berikut. Penentuan nilai konstanta Kp, Ki dan Kd diperoleh dengan menggunakan metode *heuristic*.



Gambar 3.10 Blok Diagram Kendali PID

Penelaahan parameter PID didapatkan dengan metode *heuristic* yang merupakan sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba. Heuristik adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode Heuristik ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja plant yang akan dikendalikan. Untuk perancangan sistem pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya Kp, Ki, dan Kd. Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (Heuristic Method) :

1. Penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali Proportional (P)
2. Setelah itu dilakukan penambahan parameter pengendali integral (I)
3. Kemudian Penambahan parameter kendali dedivative (D)
4. Melakukan kombinasi kendali P, PI, PD, dan PID

Proses tahapan penelaahan nilai dan output respon dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 3.3 Penalaan PID menggunakan metode *heuristic*

Set Point **(m/s^2)**	**Uji Metode *Heuristic***			***Rise Time*** **(detik)**	***Settling Time*** **(detik)**	***Overshoot (%)***
	Kp	**Ki**	**Kd**			
1	0.1	-	-	0.116	0.1477	40.6%
	0.5	-	-	0.103	0.1329	39 %
	1	-	-	0.095	0.1191	37.4 %
	1.5	-	-	0.085	0.1079	35 %
	2	-	-	0.079	0.0995	33.9 %
	0.1	1	-	0.110	0.1442	44.9 %
	1	1.5	-	0.09	0.1160	41.1 %
	1.5	2	-	0.082	0.1054	38.4 %
	2	3	-	0.076	0.0966	38. 2 %
	2.5	4	-	0.070	0,0896	37.8 %

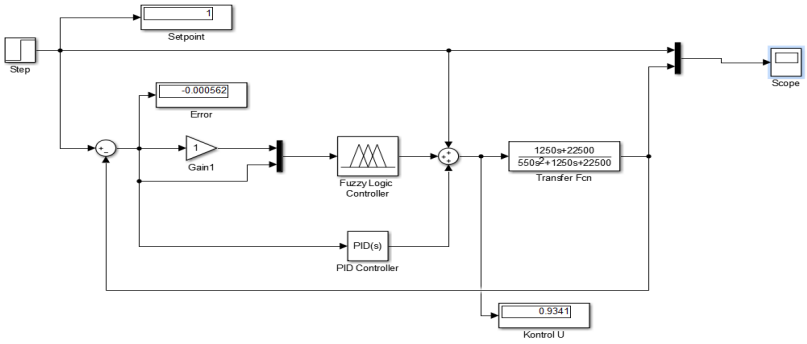
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutipsebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.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

0.1	-	0.1	0.115	0,1392	22.5 %
1	-	0.3	0.087	0,1151	11.6 %
1.5	-	0.5	0.074	0,1097	7.2 %
2	-	1	0.054	0,1058	3.5 %
0.1	1	0.1	0.113	0,1362	22.5 %
1	2	0.5	0.076	0,1143	8.6 %
1.5	3	0.7	0.067	0,1084	6.2 %
2	4	1	0.051	0.0984	3 %

Tabel 3.3 merupakan tabel penalaan PID dengan metode *heuristic* dimana didapatkan nilai Kp= 2 Ki = 4 dan Kd= , Hal ini dibuktikan dengan nilai respon system yang didapatkan merupakan hasil terbaik dibandingkan dengan kombinasi lainnya dan mampu meredam nilai *Overshoot* hingga pada angka 3%.

3.10 Perancangan Pengendali Logika *Fuzzy* – PID

Setelah mendapatkan dan menganaliisa desain pengendali *Fuzzy* dan desain pengendali PID maka dapat mengkombinasikan pengendali Logika *Fuzzy* dan pengendali PID agar kinerja dari pengendali Logika *Fuzzy* menjadi lebih optimal.



Gambar 3.11 blok Diagram pengendali *Fuzzy*-PID

Setelah dilakukan perancangan dan penelaahan konstanta PID maka selanjutnya akan dilakukan beberapa langkah lanjutan seperti berikut ini:

1. Menambahkan Sinyal Gangguan eksternal berupa sinyal gain sebesar 50% dari *setpoint* yang telah ditentukan.
2. Menganalisa hasil respon pada uji coba sistem *open loop*, Menggunakan pengendali *Fuzzy*, *Hybrid Fuzzy*-PID, dan *Hybrid Fuzzy*-PID dengan penambahan gangguan.

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

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Pada penggunan pengendali Logika *Fuzzy*-PID mampu meredam *overshoot* dan *osilasi* pada sistem susspensi seperempat kendaraan. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan hasil analisa visual dan identifikasi sistem secara keseluruhan dimana diperoleh nilai *delay time* sebesar 0.0036 detik , *rise time* 0.117975 detik , *settling time* 0.461065 detik, *overshoot* 3% dan *Error steady state* 0.
2. Kemudian pada saat di uji dengan sinyal gangguan sebesar 50% dari setpoint ternyata pada pengendali *hybrid Fuzzy*-PID ini mampu memberikan respon yg baik dan stabil dibuktikan dengan respon yang diberikan yaitu *delay time* sebesar 0.003428 detik, *rise time* 0.090907 detik, *settling time* 1.862843 detik, *overshoot* 12,6% dan *Error steady state* 0.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan pengendali lain untuk lebih memaksimal hasil respon. Selain daripada itu penelitian sistem suspensi seperempat kendaraan (*Quarter car*) ini dapat dikembangkan dengan mengendalikan parameter lainnya seperti respon suspense saat diberikan gangguan serta kemampun respon suspensi saat digunakan dalam kecepatan tertentu.

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

DAFATAR PUSTAKA

[1] Rudi Azis dan Asrul,“ *Pengantar Sistem dan Perencanaan Transportasi*”, CV. Budi Utama. Yogyakarta, 2018.

[2] Sumardi, *Bidang Khusus Instrumntasi dan Kontrol*,Institut Teknologi Bandung,1998.

[3] Wahyudi, Rudy S. “Perancangan Kendali Suspensi Aktif”. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Industri Universitas Trisakti, 2016.

[4] Ariyanto, Andi. “Analisis Kestabilan Sistem Suspense Mobil Seperempat Kendaraan Dengan Metode Lyapunov Langsung”. Universitas Islam Negri Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2015.

[5] Rohmad.”Desain Dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan PID Dan Logika Fuzzy”. Jurusan Fisika, Universitas Negri Semarang, 2015.

[6] Oni, B., Sumardi & Aris, T. 2013. “Desain Auto Tuning PID Menggunakan Logika Fuzzy Pada Sistem Suspensi Aktif Tipe Paralel Nonlinear Model Kendaraan Seperempat”. Jurusan Teknik Elektro. Semarang: Universitas Diponegoro.

[7] Nitish, Katal.”Optimization of PID Controller for Quarter-Car Suspension System Using Genetic Algorithm”.Departement Of ECE, Amity University, Rajasthan, Jaipur, India2012.

[8] Rohmad dan Sunarno.“Simulasi dan Analisis Respon Fuzzy Logic Controller Pada Sistem Suspensi”.Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang, 2014.

[9] Michael Akpakpavi.”Modeling And Control of a Car Suspension System Using P, PI, PID, GA-PID and Auto Tuned PID Controller Matlab/Simulink”.Mechanical Engineering Department, Accra Technical University, 2017.

[10] Rudy S. Wahjudi, *Perancangan Kendali Suspensi Aktif*, Universitas Trisakti, 2016.

[11] Abdi, Ferly Isnomo.“Desain dan Analisis Sistem Suspensi Aktif Model Seperempat Kendaraan Dengan Kendali PID(*Proportional Integral Derivatife*)”. JPTM volume 06 Tahun 2017, 160-165.

[12] Aly, Ayman A. “Car Suspension Control System: Basic Principles”. Mechatronics Section At Taif University, Saudi Arabia, 2012.

UIN SUSKA RIAU

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

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

[13] Honghai Lui, Huijun Gao, Ping Li. “Handbook Of Vechicle Suspension Control System”. IET Control Engineering Series 92.

[14] Sudrajat. “Modul Kuliah : Dasar – Dasar Fuzzy Logic”. Bandung : Univ. Padjadjaran,2008.[Ebook]Tersedia :https://www.academia.edu/7247080/Dasar_dasar_fuzzy_logic.

[15] Sri Kusumadewi, Hari Purnomo. “Aplikasi Logika Fuzzy”. Yogyakarta. 2013.

[16] Bambang Riyanta. “Teknik Kendali”. Modul Perkuliahan Teknik Mesin UMY. 2016.

[17] Mursyitah, Dian, dkk. “Desain Pengendali Fuzzy – PID Untuk Mengendalikan Posisi Pada Sistem Magnetic Levitation Ball”. Jurnal Ecotipe Vol 6 No 2. Hal. 61-66, P-ISSN 2355-5068, E- ISSN 2622-4852. 2019

[18] ridwan, purwanto era, dkk. “Desain Kontrol Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Fuzzy-PID Berbasis Direct Field Oriented Control”. Jurusan teknik elektro, Politeknik Negri Batam, 2019.

UIN SUSKA RIAU

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

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

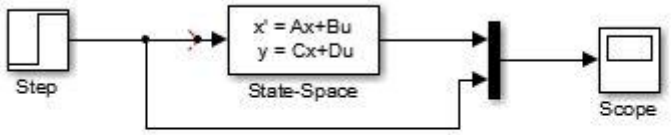
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

UIN SUSKA RIAU

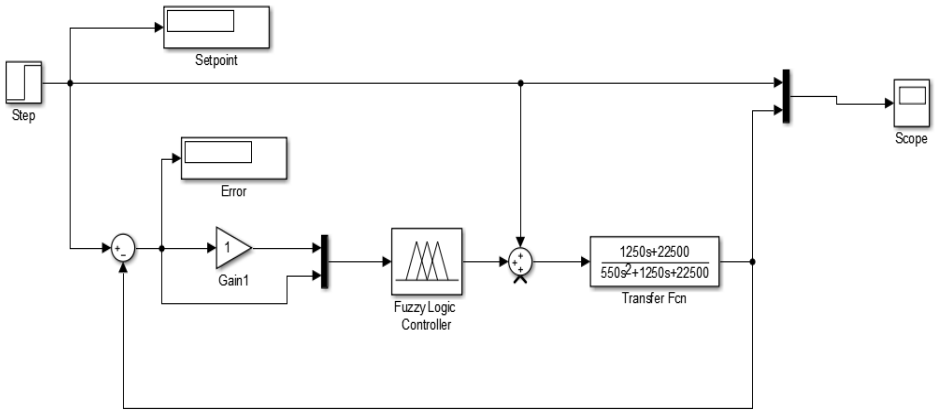
LAMPIRAN A

PERANCANGAN SIMULASI DALAM MATLAB

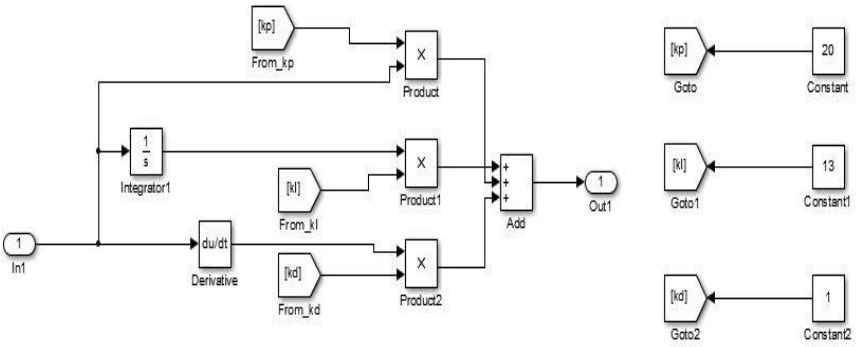
Blok Simulink sistem suspensi seperempat kendaraan secara *Open Loop*



Blok system perancangan pengendali logika *Fuzzy*

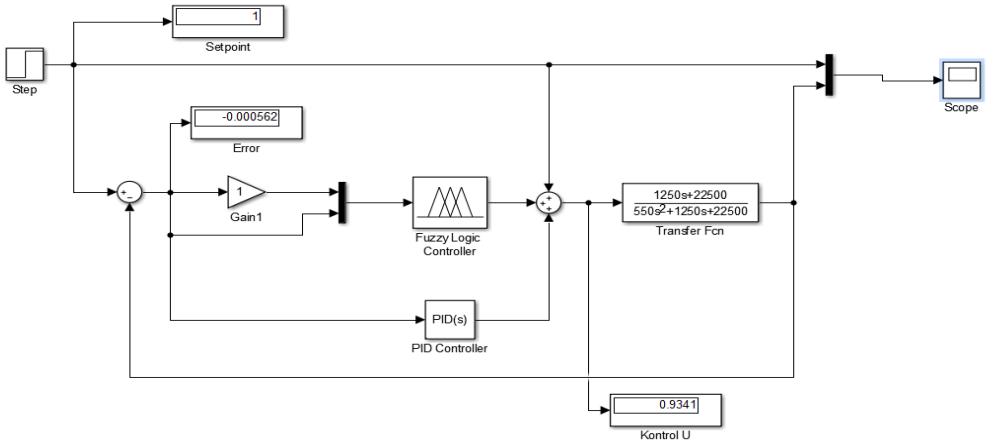


Blok subsistem PID

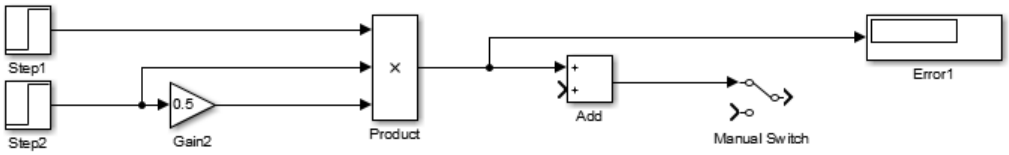


© Hak cipta milik UIN Suska Riau
Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan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

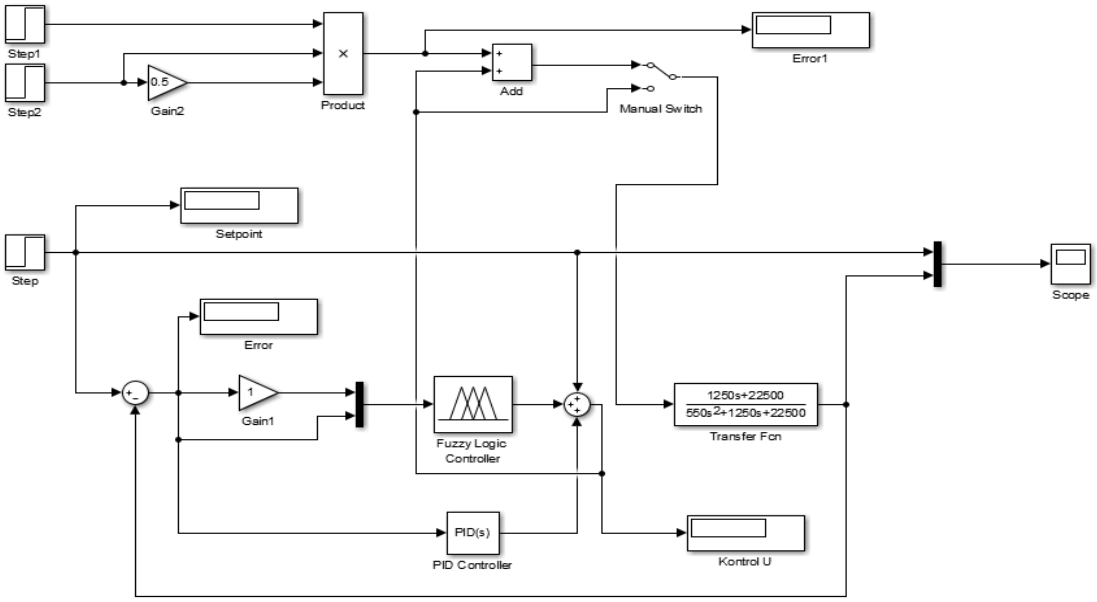
4. Blok sistem perancangan pengendali *Fuzzy*-PID



5. Blok sistem gangguan



6. Blok sistem perancangan pengendali *Fuzzy*-PID



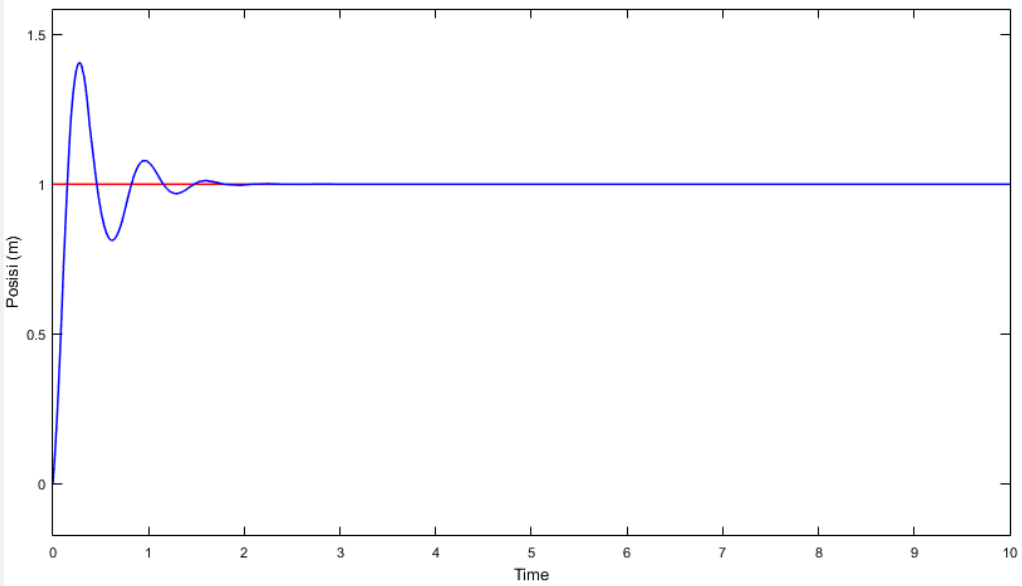
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan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

UIN SUSKA RIAU

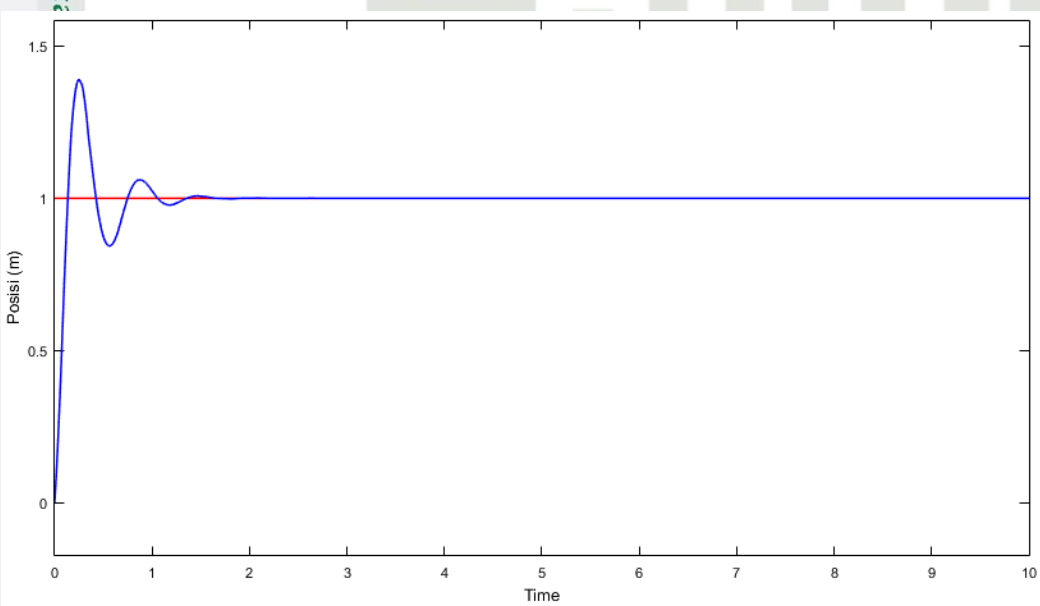
LAMPIRAN B

PROSES PENALAAN PARAMETER Kp, Ki, Kd PENGENDALI *FUZZY*-PID METODE *TRIAL AND ERROR* PADA PENGATURAN GETARAN SISTEM SUSPENSI SEPEREMPAT KENDARAAN (*QUARTER CAR*)

Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=0.1, Ki=0, Kd=0

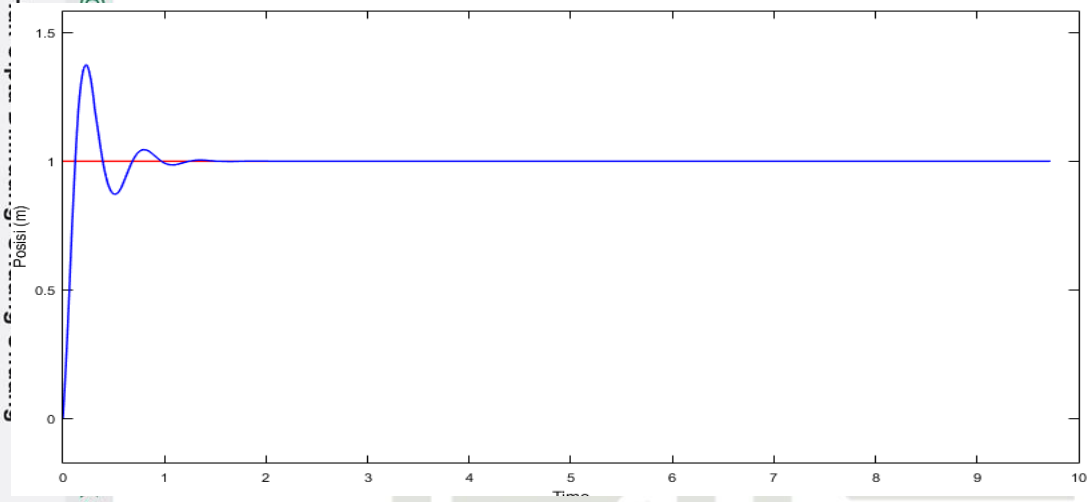


Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=0.5, Ki=0, Kd=0

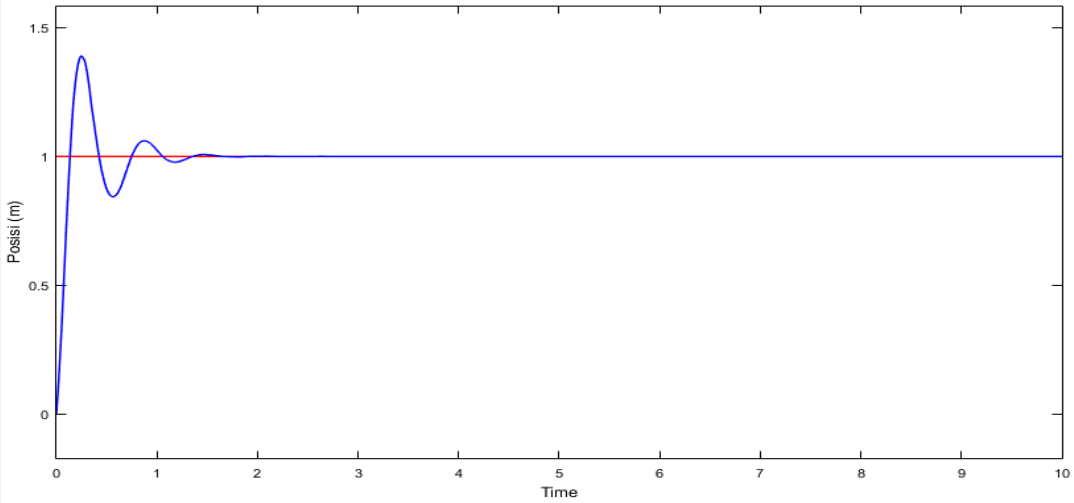


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan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

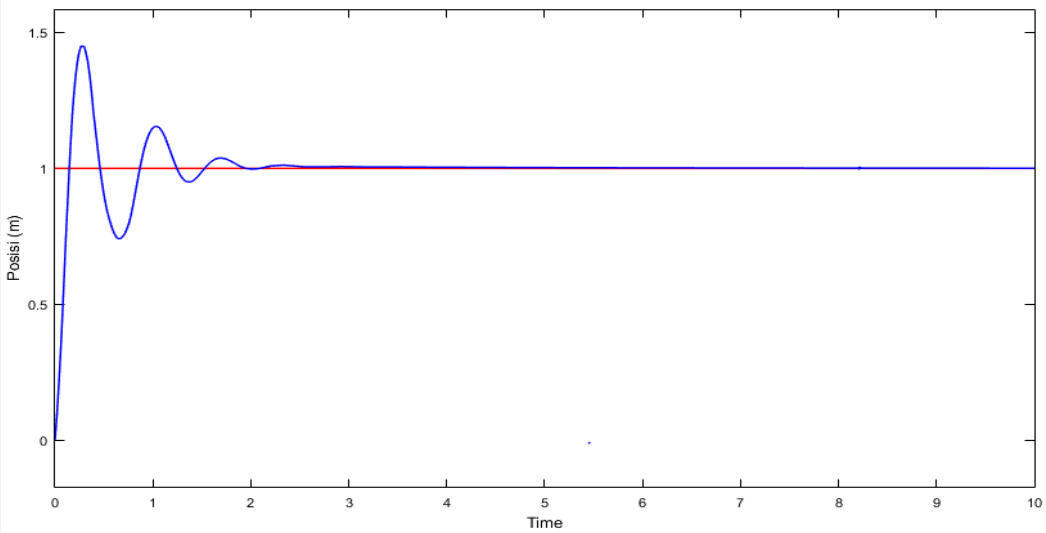
3. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=1 , Ki=0, Kd=0



4. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=2 , Ki=0, Kd=0

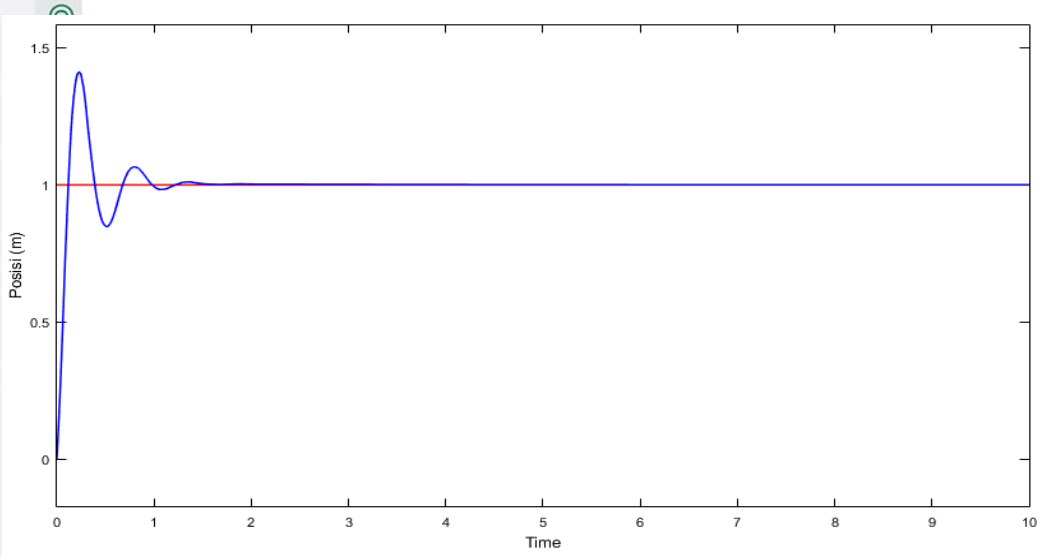


5. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=0.1 , Ki=1, Kd=0

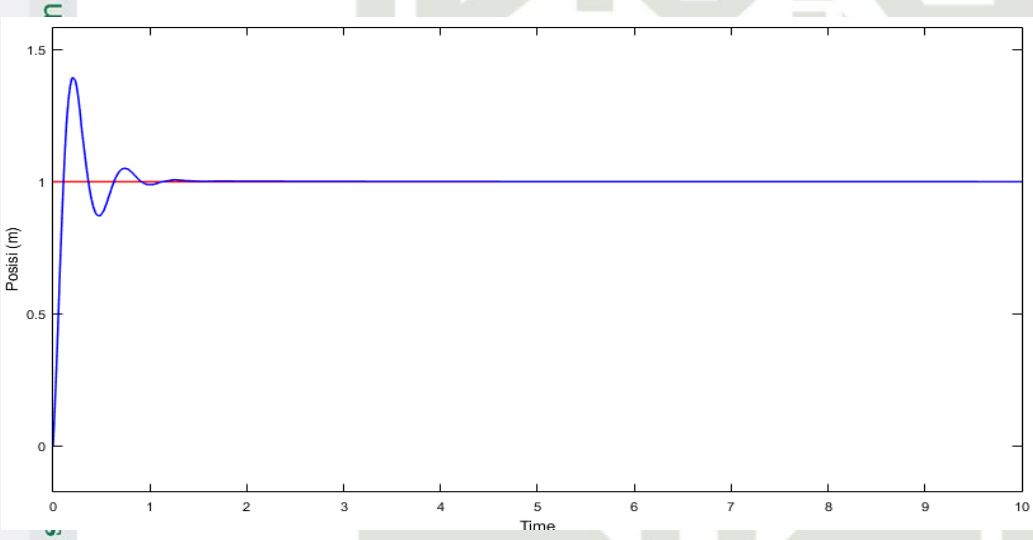


UIN SUSKA RIAU
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

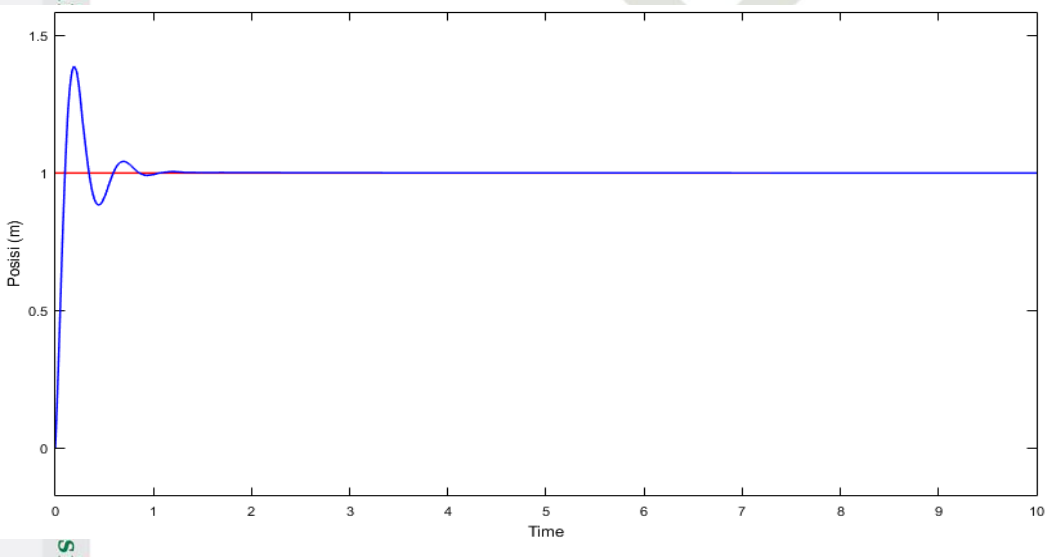
6. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=1 , Ki=1.5, Kd=0



Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=1.5 , Ki=2, Kd=0



Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=2 , Ki=3, Kd=0

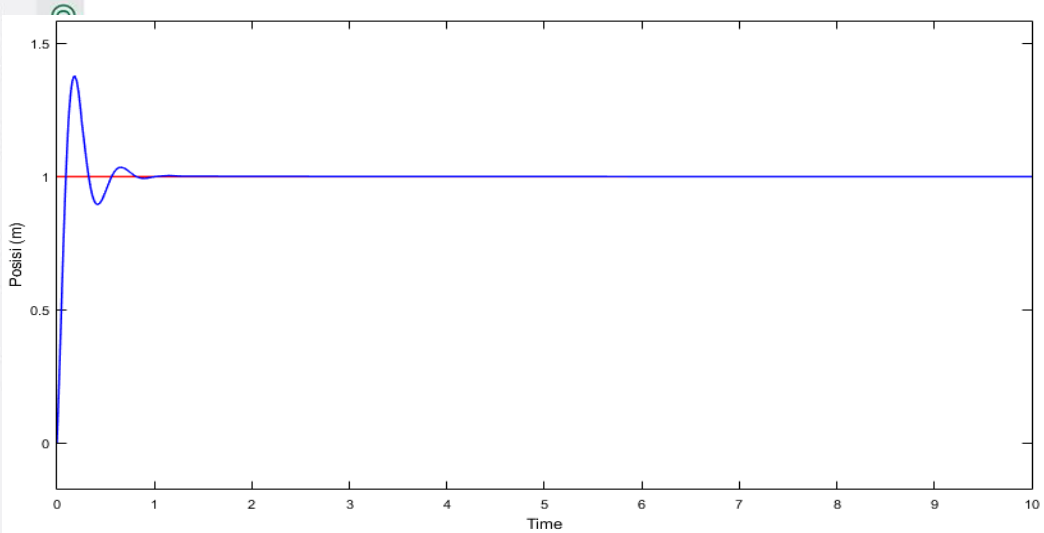


UIN SUSKA RIAU

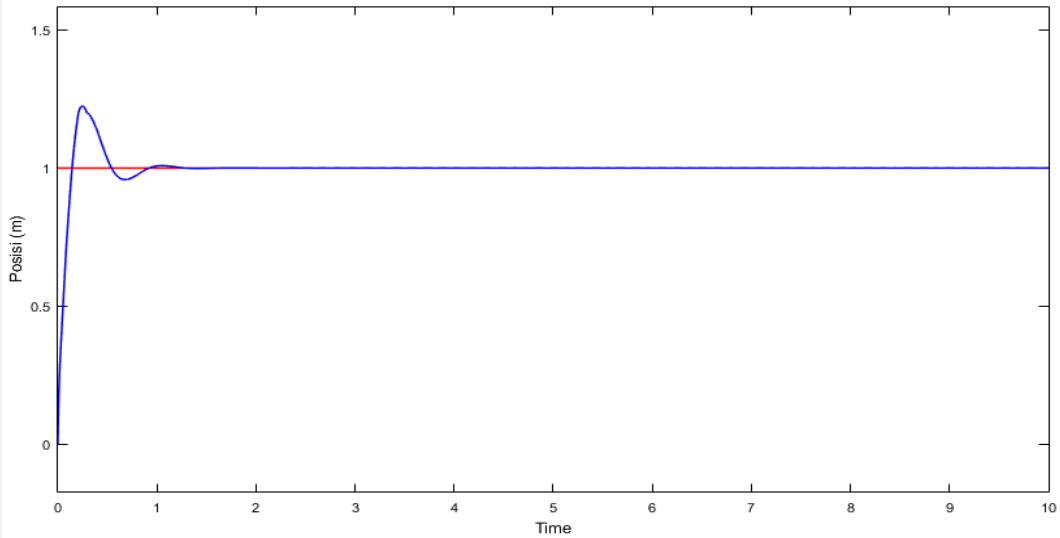
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

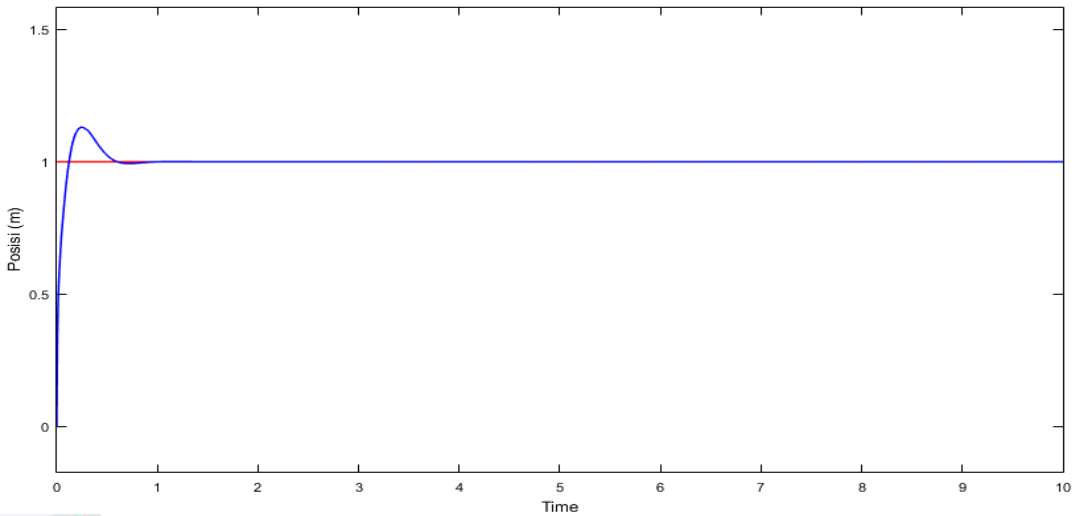
9. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=2.5 , Ki=4, Kd=0



10. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=0.1 , Ki=0, Kd=0.1

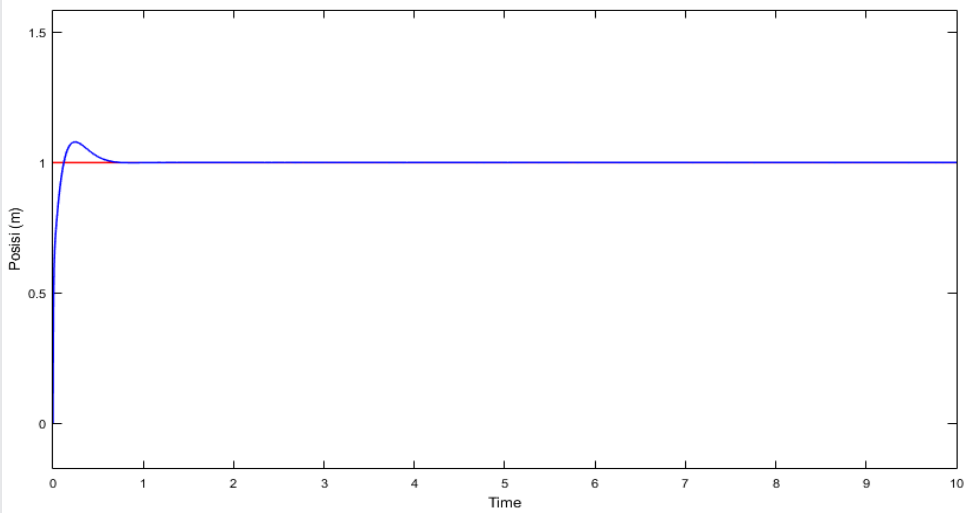


11. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=1 , Ki=0, Kd=0.3

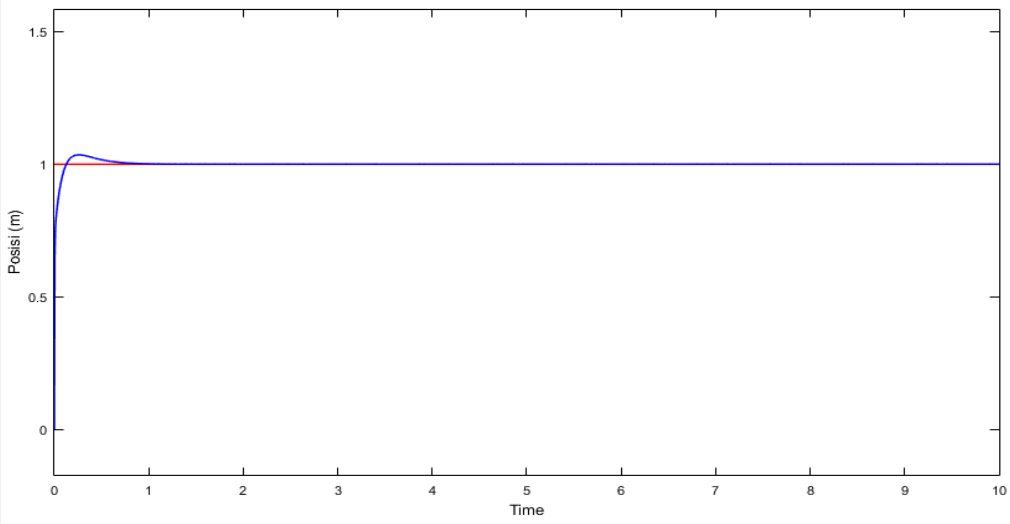


UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.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

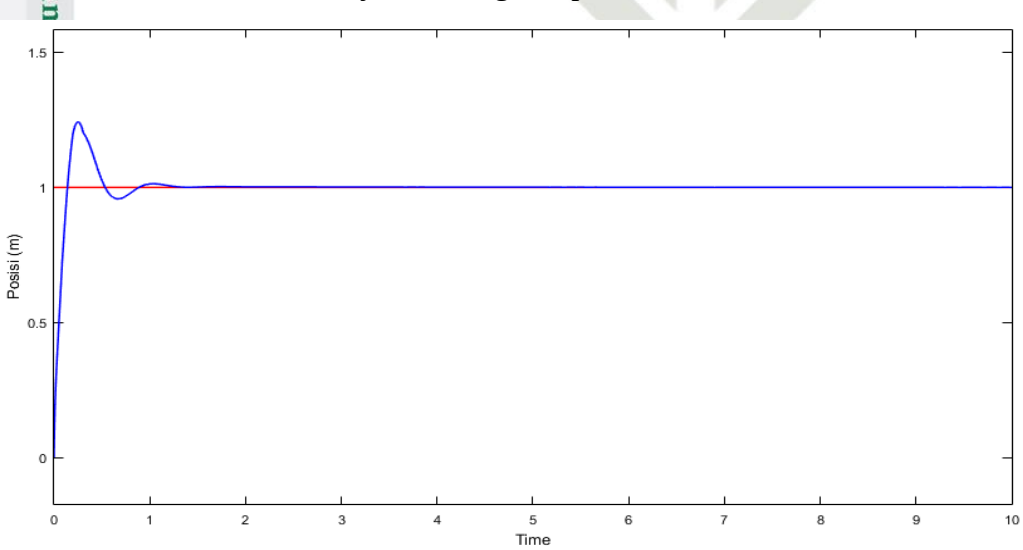
12. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=1.5 , Ki=0, Kd=0.5



13. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=2 , Ki=0, Kd=1

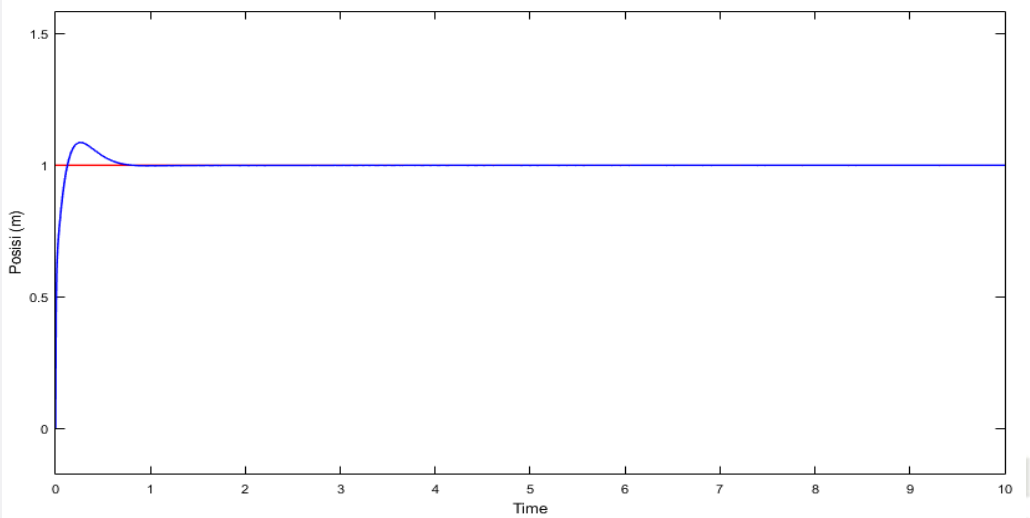


14. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=0.1 , Ki=1, Kd=0.1

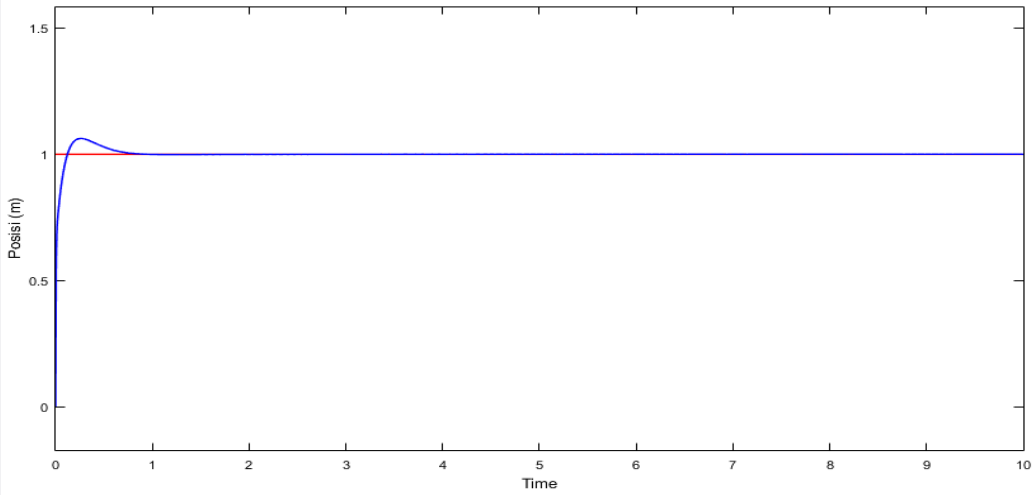


UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.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

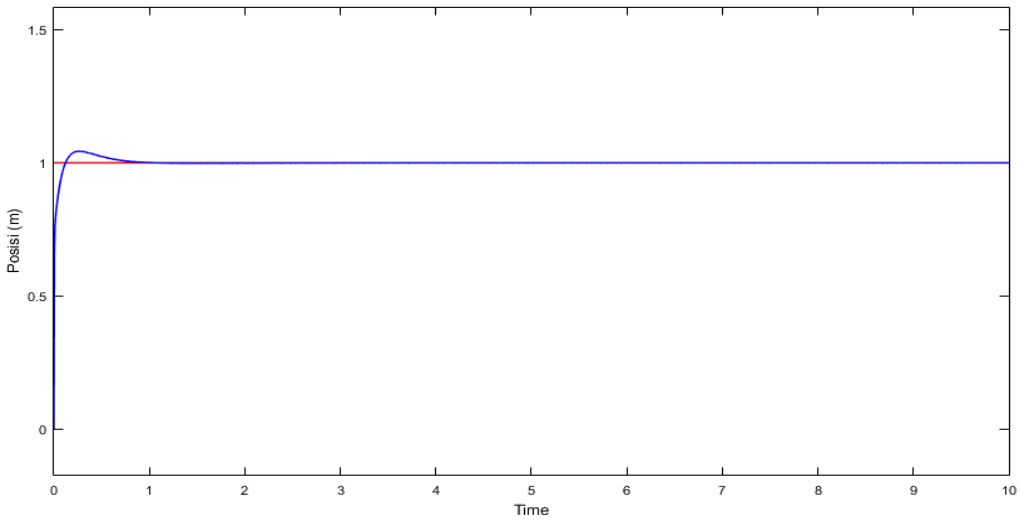
15. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=1 , Ki=2, Kd=0.5



16. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=1.5 , Ki=3, Kd=0.7

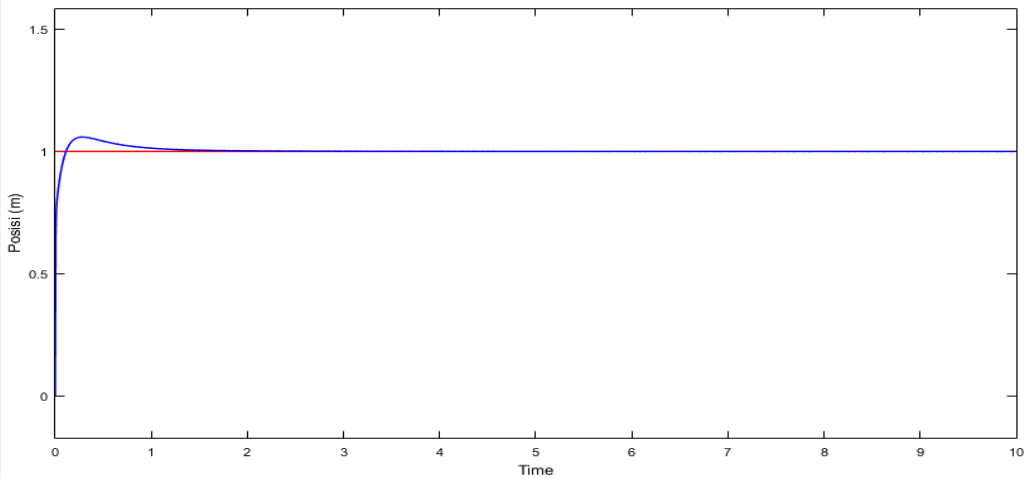


17. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan Kp=2 , Ki=4, Kd=1

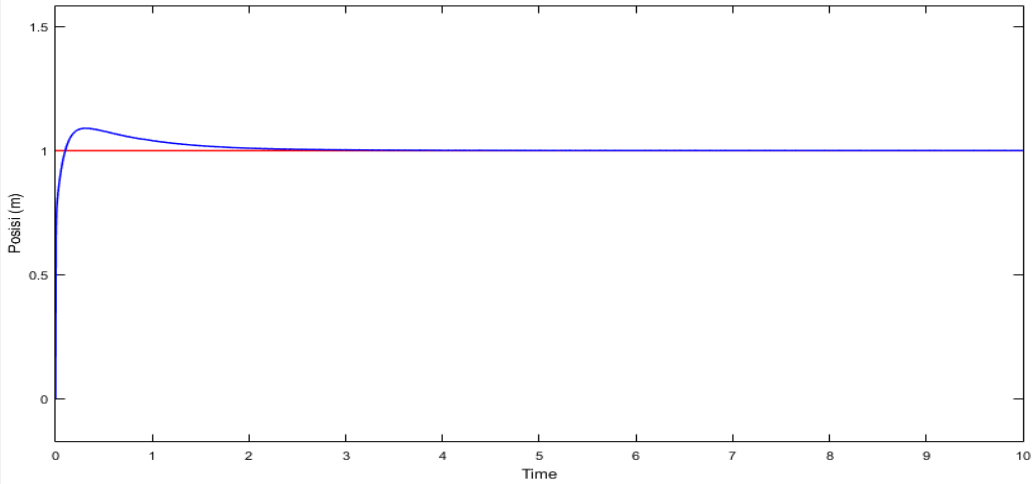


UIN SUSKA RIAU
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.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

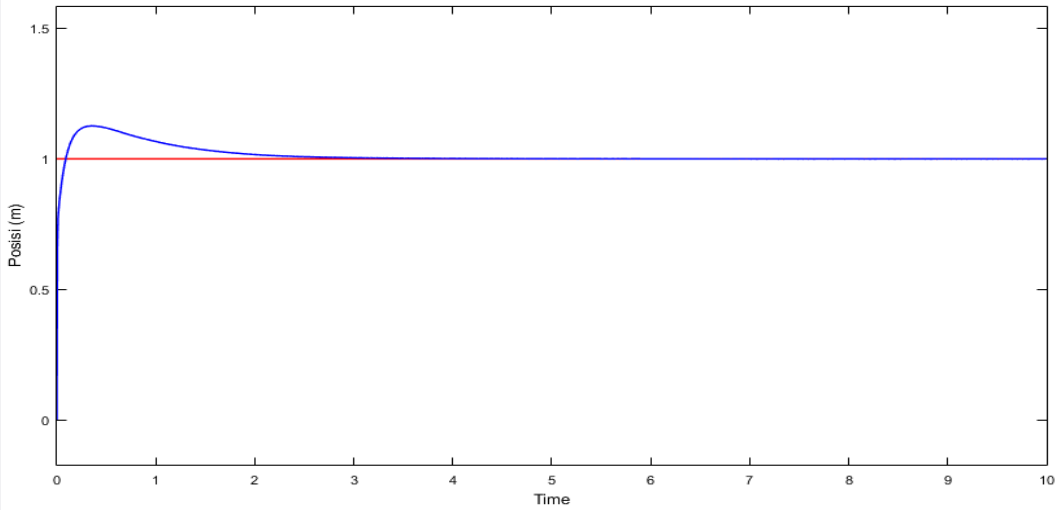
18. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan dengan gangguan 10%



19. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan dengan gangguan 30%



20. Hasil simulasi kendali *Fuzzy*-PID dengan dengan gangguan 50%



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

RIWAYAT HIDUP

Khairul Mashudi dilahirkan di PRT. Sungai Beringin Besar Desa Kuala Keritang Kecamatan Keritang Kabupaten Indragiri Hilir, pada tanggal 27 September 1997, Lahir dari pasangan Ayahanda Ikhwanudin dan Ibunda Siti Kasyani yang merupakan anak ke-2 dari 4 bersaudara.

Telp/HP : *0853-5619-1897*

Email : *khairul.mashudi@students.uin-suska.ac.id*

Penulis masuk sekolah Madrasah Ibtidaiyah Swasta AS'AD pada tahun 2003 dan Selesai pada tahun 2009. Kemudian melanjutkan pendidikan ke sekolah MTs Nurul Ikhsan Desa Kuala Keritang kecamatan Keritang dan selesai pada tahun 2012. Pada tahun 2012 melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Keritang Kec. Keritang Kab. Indragiri Hilir dan selesai pada pertengahan tahun 2015.

Selanjutnya pada tahun yang sama melalui jalur Undangan (SNMPTN) di terima menjadi mahasiswa program studi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Pada tahun 2017 Penulis melaksanakan program Kerja Praktek pada sebuah perusahaan Pengolahan Minyak Kelapa Sawit (PMKS) PT. Persada Agro Sawita di daerah Puncak Selasih Ke. Rengat Barat Kab. Indragiri Hulu, Kemudian dilanjutkan pada tahun 2018 penulis melaksanakan Praktek Kuliah Kerja Nyata (KKN) Di Desa Kemuning Muda Kecamatan Bunga Raya Kabupaten Siak.

Penulis telah melaksanakan penelitian Project Tugas Akhir ini dimulai pada awal Semester Ganjil Tahun 2020, dan selesai pada akhir semester ganjil tahun 2022 dengan judul " Desain Pengendali *Hybrid Fuzzy – Proportional, Integral, Derivative* (PID) Pada Suspensi Seperempat Kendaraan" dibawah bimbingan bapak Ahmad Faizal, ST.,MT.

UIN SUSKA RIAU

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak cipta milik UIN Suska Riau

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

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

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

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