



**DESAIN DAN ANALISIS KENDALI SISTEM
SUSPENSI MENGGUNAKAN PID DAN LOGIKA
FUZZY DENGAN SIMULINK MATLAB**

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh

Rohmad
4211411039

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2015

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia
Ujian Skripsi pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 28 April 2015

Dosen Pembimbing I



Sunarno, M.Si.

19720112 199903 1 003

Semarang,

Dosen Pembimbing II



Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.

19561029 198601 1 001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Desain dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan PID dan
Logika Fuzzy dengan Simulink Matlab

Disusun oleh

Rohmad
4211411039

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Unnes pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 30 April 2015


Panitia

Ketua




Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
19631012 198803 1 001

Sekretaris



Dr. Khumaedi, M.Si.
19630610 198901 1 002

Ketua Penguji



Isa Akhlis, M.Si.
19700102199903 1 002

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama



Sunarno, M.Si.
19720112 199903 1 003

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping



Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si.
19561029 198601 1 001

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 30 April 2015



Rohmad
4211411039

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

- *Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan (QS Al-insyiroh [94]: 6)*
- *Menjadi sukses merupakan hal yang sangat menyenangkan, lebih menyenangkan lagi dapat menjadikan banyak orang untuk mencapai kesuksesan*
- *Ketekunan adalah salah satu jalan menuju kesuksesan*
- *Tidaklah seorang muslim tertimpa suatu kelelahan dan penyakit (yang terus menimpa), kekhawatiran dan kesedihan dan tidak juga gangguan dan kesusahan bahkan duri yang melukainya melainkan allah akan menghapus kesalahan – kesalahannya. [HR, Bukhari]*

Persembahan:

- *Ibu dan Bapak tersayang,*
- *Bapak dan ibu dosen, terima kasih atas semua ilmu dan bimbingan yang telah diberikan*
- *Teman-teman FISIKA instrumentasi unnes 2011: udin, astrid, mida, andi firmansyah, kevin terima kasih atas dukungan dan do'anya.*
- *Sahabat-sahabatku seperjuangan fisika unnes 2011, terima kasih atas persahabatan, kebersamaan dan do'anya.*
- *Teman-teman KKn TRISOBO, thank's for everything*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrohim,

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul Desain dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan PID dan Logika Fuzzy dengan Simulink Matlab.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan saran, bimbingan, maupun petunjuk serta bantuan sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Sunarno, M.Si. dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi serta selama proses perkuliahan.
5. Drs. Sukiswo Supeni Edie, M.Si. dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi.
6. Isa Akhlis, M.Si. yang telah memberikan inspirasi dan motivasi selama penyusunan skripsi dan proses perkuliahan.

7. Dr. Ian Yulianti, M.Si. dosen wali yang telah memberikan nasehat dan bimbingan selama kuliah.
8. Rodhotul Muttaqin, S.Si. yang telah memberikan inspirasi, masukan dan saran selama penyusunan skripsi.
9. Andi Firmansah, Astrid Setiani dan Dea yang telah bersama-sama berdiskusi dalam mengembangkan design suspensi di Simulink matlab.
10. Teman – teman Fisika UNNES 2011 yang telah bersedia menjadi peserta dalam seminar proposal dan memberikan masukan agar penelitian lebih baik.
11. Mahasiswa tim KKN Trisobo yang telah memberikan semangat selama proses penelitian berlangsung.
12. Mahasiswa Rahasia kos: Lea, Indra, Wisnu, Agil, Faizal, Yasin, Angga, Jordan yang telah memberikan semangat dalam proses pembuatan laporan.
13. Segenap teman-teman DOTA yang memberikan inspirasi dalam proses penyusunan skripsi dan semua pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya, lembaga, masyarakat dan pembaca pada umumnya.

Semarang, 30 April 2015

Penulis

ABSTRAK

Rohmad. 2015. Desain dan Analisis Kendali Sistem Suspensi Menggunakan PID dan Logika Fuzzy dengan Simulink Matlab. Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I: Sunarno, M.Si. Pembimbing II: Drs. Sukiswo Supeni Edi, M.Si.

Kata kunci: Suspensi aktif, Linier, PID (*Proporsional Integral Derivative*), FLC (*Fuzzy Logic Controller*), *Simulink matlab*.

Sistem suspensi merupakan salah satu komponen mekanik yang penting dalam suatu mobil. Sistem tersebut sering kali menimbulkan suatu permasalahan yang sulit dihindari yaitu getaran yang berlebih. Getaran ini apabila tidak diantisipasi maka akan menyebabkan kegagalan pada mesin, berkurangnya tingkat keamanan pada mobil serta perasaan tidak nyaman pada penumpang. Optimalisasi kinerja melalui pemberian sistem kontrol merupakan suatu langkah yang tepat dalam mengatasi getaran/osilasi berlebih tersebut. Tujuan penelitian yaitu mengetahui kinerja/peformansi sistem kontrol pada sistem suspensi mobil, kontrol yang ditetapkan mampu meredam getaran dan memberikan kenyamanan bagi penumpang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pemodelan dan simulasi sistem suspensi dan kendalinya menggunakan Simulink Matlab. Kendali yang ditetapkan pada penelitian ini menggunakan kendali PID dan FLC (*Fuzzy Logic Controller*). Pengujian pada kendali *PID* dilakukan sebanyak 6 kali sehingga dapat mengetahui pengaruh pemberian penguatan terhadap hasil peformansi sistem. Hasil pemberian penguatan $K_p = 9558.3589$, $K_i = 57244.9325$, $K_d = 22.9008$ menunjukkan peformansi sistem yang sesuai dengan design kriteria. Karakteristik peformansi sistem yang dihasilkan pada kendali PID yaitu *settling time* = 1.7 sekon, dengan *overshoot* = 2.09%, *peak time* = 1.02, *rise time* = 0.304 sekon. Pengujian pada FLC dilakukan dengan tiga variasi aturan *fuzzy* yaitu 7 aturan, 25 aturan, dan 49 aturan. Peformansi sistem yang optimal dan sesuai dengan design kriteria pada pemberian 49 aturan *fuzzy*, dengan karakteristik sistem yaitu *settling time* = 1.05 sekon, *overshoot* = 2.78%, *peak time* = 0.51, *rise time* = 0.4 sekon. Pengujian dari kedua kendali yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil peformansi sistem dengan kendali FLC lebih baik daripada kendali PID.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi

BAB

1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
2. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Definisi – Definisi	8
2.2 Sistem Suspensi	9
2.2.1 Identifikasi Komponen Sistem Suspensi	10

2.2.2	Analisa Peformansi Sistem Suspensi	12
2.3	Model Matematika Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi Aktif	13
2.4	Kontrol <i>PID</i>	17
2.5	Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	21
2.5.1	Logika <i>Fuzzy</i> dan Himpunan <i>Fuzzy</i>	22
2.5.2	Fungsi Keanggotaan	24
2.5.3	Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i>	25
2.5.4	Konfigurasi Dasar Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	26
2.5.5	Basis Data	28
2.5.5.1	Diskritisasi Semesta Pembicaraan	28
2.5.5.2	Pembagian Ruang Masukan dan Keluaran <i>Fuzzy</i>	29
2.5.6	Basis Aturan <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Rule Base</i>)	29
2.5.7	Metode Pembuatan Keputusan <i>Fuzzy</i>	32
2.5.7.1	Metode Inferensi <i>Fuzzy</i> “ <i>Mamdani</i> ”	32
2.5.7.2	Metode Inferensi <i>Fuzzy</i> “ <i>Sugeno</i> ”	32
2.5.8	Strategi Defuzzifikasi	33
2.6	Matlab R2014b	35
2.7	Simulink & SimMechanics	36
2.8	Penelitian Terkait	38
3.	METODE PENELITIAN	40
3.1	Desain Penelitian.....	40
3.1.1	Lokasi Penelitian	40
3.1.2	Alat dan Bahan	40
3.1.3	Prosedur Penelitian.....	41

3.2 Teknik Pengujian Sistem dan Analisis Data	43
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Hasil Penelitian	52
4.2 Peformansi Sistem Pada Kondisi Loop Terbuka	57
4.2.1 Analisis Penentuan Range Gangguan	60
4.3 Peformansi Sistem Pada Kondisi Loop Tertutup	61
4.3.1 Peformansi Sistem Menggunakan Kendali PID	61
4.3.1.1 Analisis Pengujian Kendali PID	63
4.3.2 Peformansi Sistem Menggunakan FLC	77
4.3.2.1 Analisis Pengujian FLC	78
4.4 Pembahasan	89
5. PENUTUP	92
5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran	93
6. DAFTAR PUSTAKA	94
7. LAMPIRAN	98

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 State Space Model	16
2.2 Parameter Model Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi	17
2.3 Respon Kendali PID Terhadap Perubahan Konstanta	19
3.1 Variabel <i>Fuzzy</i> Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi.....	44
3.2 Aturan <i>Fuzzy</i> dengan <i>Fuzzy Associative Memory</i> (FAM).....	50
4.1 Parameter Gangguan Fungsi Undak	59
4.2 Penguatan Kendali PID Pengujian 1	64
4.3 Peformansi Sistem Pengujian 1	65
4.4 Penguatan Kendali PID Pengujian 2	66
4.5 Peformansi Sistem Pengujian 2	67
4.6 Penguatan Kendali PID Pengujian 3	67
4.7 Peformansi Sistem Pengujian 3	68
4.8 Penguatan Kendali PID Pengujian 4	69
4.9 Peformansi Sistem Pengujian 4	70
4.10 Penguatan Kendali PID Pengujian 5	71
4.11 Peformansi Sistem Pengujian 5	73
4.12 Penguatan Kendali PID Pengujian 6	74
4.13 Peformansi Sistem Pengujian 6	75
4.14 Aturan <i>Fuzzy</i> Pengujian 1	79

4.15	Peformansi Sistem 7 Aturan	81
4.16	Aturan <i>Fuzzy</i> Pengujian 2	83
4.17	Peformansi Sistem 25 Aturan <i>Fuzzy</i>	85
4.18	Peformansi Sistem 49 Aturan <i>Fuzzy</i>	87
4.19	Perbandingan Hasil Peformansi Sistem PID Dengan <i>Fuzzy</i>	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Model Full Sistem Suspensi Kendaraan.....	10
2.2 Model $\frac{1}{4}$ Sistem Suspensi Kendaraan	11
2.3 Skema Kerja Suspensi Aktif	12
2.4 Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi Aktif Kendaraan	14
2.5 Blok Diagram Untuk <i>Unity Feedback Systems</i>	18
2.6 Respon Sistem Step Untuk Sistem Orde Dua	21
2.7 Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaan	23
2.8 Fungsi Keanggotaan Triangular	24
2.9 Fungsi Keanggotaan Trapezoidal	25
2.10 Konfigurasi Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	26
2.11 Variabel <i>Fuzzy</i>	29
2.12 <i>Fuzzy Inference System</i>	34
2.13 <i>Matlab R2014b</i>	36
2.14 <i>Simulink Library Matlab</i>	37
3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	42
3.2 FIS Yang Dibangun Menggunakan FLT	45
3.3 Masukan Pertama (<i>Error</i>) Untuk Pengujian 7 aturan	46
3.4 Masukan Kedua (<i>dError</i>) Untuk Pengujian 7 Aturan	47
3.5 Keluaran (Gaya) Untuk Pengujian 7 Aturan	47
3.6 Masukan Pertama (<i>Error</i>) Untuk Pengujian 25 & 49 Aturan	48
3.7 Masukan Kedua (<i>dError</i>) Untuk Pengujian 25 & 49 Aturan	49

3.8	Keluaran (Gaya) Untuk Pengujian 25 & 49 Aturan	49
4.1	Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi Aktif <i>Loop</i> Terbuka	53
4.2	Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi Aktif Dengan Kendali PID	54
4.3	Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi Aktif Dengan FLC	55
4.4	Sistem Dari Model $\frac{1}{4}$ Suspensi Aktif	56
4.5	<i>Open Loop</i> Sistem Tanpa Gangguan	58
4.6	<i>Open Loop</i> Sistem Dikenai Gangguan	58
4.7	Variasi <i>Range</i> Gangguan Pada <i>Open Loop</i>	60
4.8	Hasil Pengujian Kendali PID 1	65
4.9	Hasil Pengujian Kendali PID 2	66
4.10	Hasil Pengujian Kendali PID 3	68
4.11	Hasil Pengujian Kendali PID 4	70
4.12	Hasil Pengujian Kendali PID 5	72
4.13	Hasil Pengujian Kendali PID 6	75
4.14	Hasil Pengujian Kendali PID Bersama	77
4.15	Hasil Pengujian 1 FLC 7 Aturan	80
4.16	Hasil Pengujian 2 FLC 25 Aturan	84
4.17	Hasil Pengujian 3 FLC 49 Aturan	86
4.18	<i>Surface Viewer</i> 7 Aturan <i>Fuzzy</i>	88
4.19	<i>Surface Viewer</i> 25 Aturan <i>Fuzzy</i>	88
4.20	<i>Surface Viewer</i> 49 Aturan <i>Fuzzy</i>	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Solusi Analitik Pengujian Kendali PID.....	99
2. Parameter Model dan Gangguan Sistem.....	109
3. Respon Keluaran Kendali PID	112
4. Struktur FIS Pada Kendali <i>Fuzzy</i>	114
5. Surat Keputusan Pembimbing Skripsi.....	121
6. Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi	122

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini kebutuhan untuk melakukan perancangan sistem kontrol telah meluas dalam berbagai bidang kehidupan. Pada awal ditemukannya teknologi tersebut, kebutuhan perancangan hanya terkonsentrasi pada sektor industri dan *manufaktur* saja. Berkembangnya teknologi instrumen dan komputasi saat ini, berdampak pada perkembangan teknologi kendali (*control*) mulai dari sistem kendali konvensional (PID) sampai sistem kendali yang modern (*optimal, robust, fuzzy*).

Sistem kendali berbasis PID merupakan teknik konvensional yang sering digunakan. Informasi mengenai karakteristik sistem yang dikontrol selalu diwujudkan dalam bentuk model matematika. Model matematika yang dibuat belum tentu dapat mewakili keadaan sistem sebenarnya. Oleh karena itu, rancangan sistem kontrol konvensional menghasilkan performansi buruk, ketika dihadapkan pada sistem yang sukar diprediksi (Ebrahimi & Gharaveisi, 2012: 37).

Sistem *Fuzzy Logic Controller (FLC)* merupakan sebuah teknik baru dalam dunia kontrol. Secara umum, penerapan *fuzzy logic* dalam sistem kontrol digunakan untuk meningkatkan performansi sistem yang dibangun berdasarkan rancangan sistem kontrol konvensional. Sistem *Fuzzy Logic Controller (FLC)* tidak dimodelkan melalui pemodelan matematika, namun mampu menghasilkan

performansi sistem kontrol yang sangat baik (Ozgur & Ilknur, 2012: 67). Berbagai sistem fisis dapat dijadikan kajian dalam teknik kontrol, salah satunya yaitu sistem kontrol pada suspensi mobil.

Sistem suspensi pada mobil merupakan salah satu komponen mekanik penting dalam keseluruhan perangkat dalam mobil. Hal ini berkaitan dengan kenyamanan saat berkendara dan kondisi jalan yang bervariasi. Model seperempat sistem suspensi kendaraan merupakan bagian dari keseluruhan sistem yang berada dalam suatu kendaraan (Oni, 2013: 114).

Sistem mekanik yang bekerja sering kali menimbulkan suatu permasalahan yang sulit dihindari yaitu getaran yang berlebihan. Getaran ini apabila tidak diantisipasi maka menyebabkan kegagalan fungsi pada mesin, perasaan tidak nyaman pada penumpang dan suara yang mengganggu yang timbul dari sistem tersebut (Anggoro, 2013).

Sistem suspensi yang ideal dapat meredam osilasi getaran yang ditimbulkan oleh interaksi mobil dengan jalan (Emir, 2005: 649). Penelitian tentang desain dan analisis pada sistem suspensi sangat penting dilakukan. Kinerja dari sistem suspensi sangat besar pengaruhnya terhadap performansi dalam menambahkan kemampuan kendaraan tersebut. Analisis yang didapatkan memberikan informasi tentang karakteristik performansi sistem sehingga faktor kenyamanan dan keamanan mobil dapat diketahui.

Penelitian tentang sistem performansi kontrol dari sistem suspensi kendaraan pasif (PVSS), sistem kendaraan setengah aktif (SAVSS), dan sistem

suspensi kendaraan aktif (AVSS) telah banyak dikembangkan. Salah satunya yaitu Sakman, *et al* (2005: 649) yang membahas tentang keunggulan peformansi suspensi aktif non-linier dengan kontrol *fuzzy logic* dan membandingkannya dengan hasil suspensi aktif dan setengah aktif.

Kebanyakan sistem suspensi kendaraan terdiri dari dua komponen paralel yaitu pegas dan *viscous damper*. Perencanaan sistem suspensi pasif mempunyai kelemahan utama yakni tidak mampu meningkatkan faktor kenyamanan dan faktor keamanan kendaraan secara bersamaan serta dihadapkan pada masalah penetapan masalah pegas dan damper, dimana kedua faktor tersebut saling bertentangan yaitu antara kenyamanan dan penanganan terhadap kekasaran permukaan jalan (*road holding*). Kenyamanan kendaraan yang baik memerlukan pegas yang lunak (*soft spring*) tetapi berdampak pada pengendalian kekasaran permukaan jalan jelek (Mujde & Nurkan, 2013: 411).

Dalam penelitian Ozgur & Ilknur (2012: 2139) mengenai “*Modelling and Control of a Nonlinear Half-Vehicle Suspension System: a Hybrid Fuzzy Logic Approach*” dengan hasil penelitiannya, menyatakan suatu sistem suspensi yang dikenal dengan sistem suspensi aktif yang mampu memperbaiki kinerja dari sistem suspensi pasif dengan pendekatan *fuzzy logic*. Sistem suspensi aktif yang dibangun mampu memperbaiki faktor kenyamanan dan faktor keamanan kendaraan secara bersamaan serta meningkatkan karakteristik dinamika kendaraan dengan suplay gaya kontrol dalam respon terhadap semua pengaruh gangguan dalam gerakan dinamika kendaraan akibat percepatan, perlambatan, dan kondisi jalan.

Optimalisasi karakteristik peformansi sistem merupakan suatu langkah yang tepat dalam mengatasi masalah gaya kontrol yang berlebih. Kendali ini penting agar sistem berjalan sesuai kriteria desain ideal instrumen dan dalam menghemat biaya yang harus dikeluarkan untuk perawatan serta perbaikan sistem yang mengalami getaran berlebihan. Hasil penelitian Tesna (2012) menunjukkan bahwa sistem suspensi aktif yang dirancang memiliki rata-rata defleksi badan, roda, dan percepatan kendaraan lebih kecil dibanding sistem suspensi pasif serta memiliki percepatan maksimum lebih kecil dari $79,7479 \text{ m/s}^2$ menjadi $63,6814 \text{ m/s}^2$ untuk gangguan berupa sinyal random.

Simulasi desain dan analisis penelitian, memanfaatkan program komputer yaitu menggunakan *Simulink Matlab*. *Matlab* merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi pemodelan dan grafik-grafik perhitungan (Hany, 2013). *Simulink* adalah *platform* didalam *Matlab* yang digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik secara *realtime*. *Simulink Matlab* dapat memudahkan dalam membangun sistem fisis aktif suspensi dari persamaan dinamika dengan berbagai macam fasilitas analisis data (MathWorks, 2014). Adanya program simulasi ini, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik peformansi sistem pada suspensi mobil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan dalam latar belakang ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana analisis peformansi sistem suspensi mobil pada sistem *loop* terbuka yang diimplementasikan kedalam Simulink Matlab?
2. Bagaimana menentukan sistem kendali pada suspensi mobil menggunakan PID dan FLC (*Fuzzy Logic Controller*)?
3. Bagaimana analisis peformansi sistem suspensi mobil terhadap berbagai masukan yang diberikan dengan kendali PID dan FLC?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, antara lain:

1. Mengetahui peformansi sistem suspensi mobil untuk keadaan *loop* terbuka
2. Menentukan sistem kendali penguatan PID dan aturan *fuzzy* yang tepat, agar mampu meredam osilasi/getaran yang ditimbulkan oleh interaksi mobil dengan jalan.
3. Mengetahui dan membandingkan peformansi sistem suspensi mobil setelah dikendalikan menggunakan PID dan FLC

1.4 Manfaat Penelitian

1. Skripsi ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang karakteristik peformansi sistem suspensi aktif pada mobil, sehingga dapat meningkatkan faktor kenyamanan dan keamanan pada mobil.
2. Penelitian ini hanya berupa simulasi yang memanfaatkan program komputer, sehingga diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses dan hasil analisis sistem kendali pada suspensi mobil menggunakan PID dan Fuzzy.

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang diterapkan dalam penyusunan laporan skripsi dengan kasus diatas yaitu:

1. Sistem yang digunakan adalah model matematika dari sistem seperempat suspensi aktif dengan analisis gerakan hanya vertikal saja dan dimensi ban mobil diabaikan.
2. Sistem yang dikontrol adalah sistem kontinu, linier, tipe paralel serta tidak berubah terhadap waktu dengan sumber gangguan dianggap hanya berasal dari ketidakrataan jalan saja, sedangkan gangguan dari getaran mesin dianggap kecil.
3. Penelitian yang dilakukan hanya sebatas simulasi desain menggunakan teknik kontrol *PID* dan *Fuzzy Logic Controller (FLC)* tidak membahas terapan pada hardwarenya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini secara garis besar dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi dan bagian akhir skripsi. Bagian awal skripsi terdiri dari halaman judul, persetujuan pembimbing, pengesahan pembimbing, pengesahan kelulusan, pernyataan, motto dan persembahan, daftar isi, daftar tabel dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi terdiri dari 5 bab yang terdiri dari Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Landasan Teori, Bab 3 Metode Penelitian, Bab 4 Hasil dan Pembahasan, serta Bab 5 Kesimpulan dan Saran.

Bab 1 berisi tentang Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah serta Sistematika Penulisan.

Bab 2 berisi tentang teori-teori dan konsep-konsep yang mendasari penelitian.

Bab 3 membahas aspek-aspek metodologi penelitian mencakup desain penelitian, diagram alir metode penelitian, prosedur penelitian, metode pengujian sistem dan metode analisis data.

Bab 4 membahas tentang hasil penelitian dan teknik analisisnya dengan pembahasan mengacu pada teori sebagaimana dikendalikan oleh Bab 2.

Bab 5 berisi simpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian. Pada bagian akhir skripsi terdapat daftar pustaka dan lampiran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi- Definisi

Pada bagian ini, beberapa istilah yang digunakan dalam mempelajari sistem kontrol yaitu sebagai berikut (Ogata, 1994: 2):

Plant adalah seperangkat peralatan, terdiri dari beberapa mesin yang bekerja bersama-sama yang digunakan untuk melakukan suatu operasi tertentu. Dalam setiap objek fisik yang dikontrol disebut *plant*.

Proses didefinisikan sebagai operasi atau perkembangan ilmiah yang berlangsung secara kontinyu dengan ditandai oleh suatu deretan dengan setiap operasi yang dikontrol disebut proses.

System adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan suatu sasaran tertentu. Sistem tidak hanya dibatasi hanya untuk sistem fisik saja.

Sistem control berumpan balik (*feedback control system*) merupakan sistem control yang cenderung menjaga hubungan yang telah ditentukan antara *output* dengan *input* acuan dengan membandingkan dan menggunakan selisih sebagai alat pengontrol.

Sistem control lup tertutup (*closed-loop control system*) adalah sistem control yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Jadi termasuk control berumpan-balik.

Sistem control lup terbuka (*open-loop control system*) adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi, keluaran tidak diukur atau diumpun balikkan untuk dibandingkan dengan inputan.

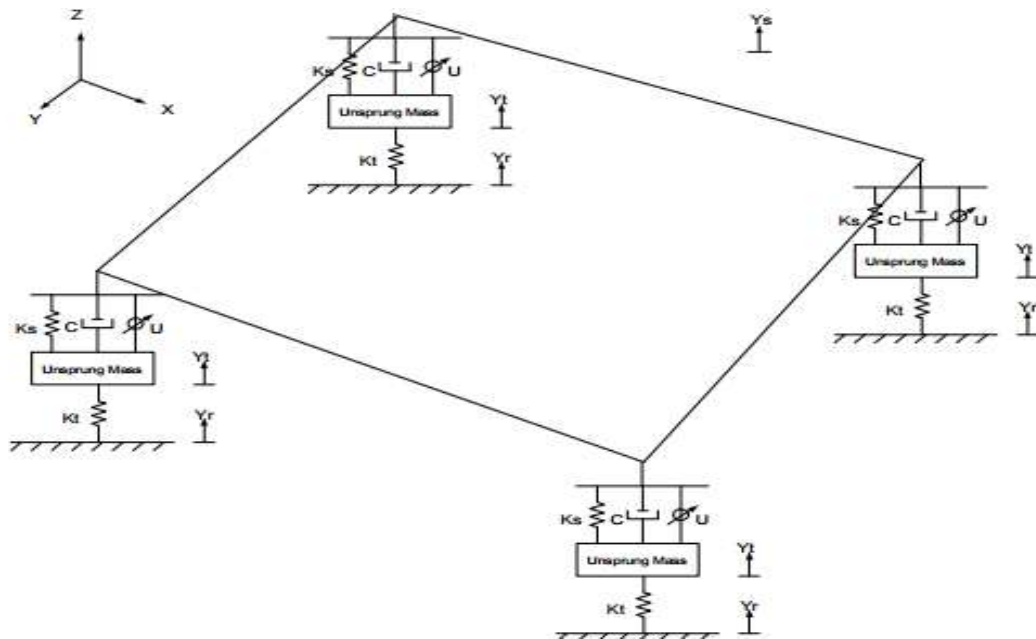
2.2 Sistem Suspensi

Sistem suspensi dapat diklasifikasi menjadi pasif, semi-aktif, dan aktif. Pada sistem suspensi pasif, komponen yang digunakan masih konvensional dan memiliki karakteristik tetap, yaitu pegas yang tidak dapat dikontrol secara bersamaan dengan peredam penyerap getaran. Sistem suspensi semi-aktif terdiri dari komponen pasif dan aktif. Sedangkan sistem suspensi aktif tidak memiliki komponen pasif (Oni, 2013: 145).

Saat ini, suspensi aktif ditandai dengan aktuator hidrolis yang ditempatkan secara seri (*low bandwidth*) atau paralel (*high bandwidth*) 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 (Oni, 2013: 145).

Sistem suspensi aktif adalah suatu sistem yang hanya menggunakan komponen aktif artinya pada sistem suspensi aktif ini tidak digunakan komponen pasif. Pada penelitian ini digunakan model kendaraan seperempat. Model ini 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. Model untuk

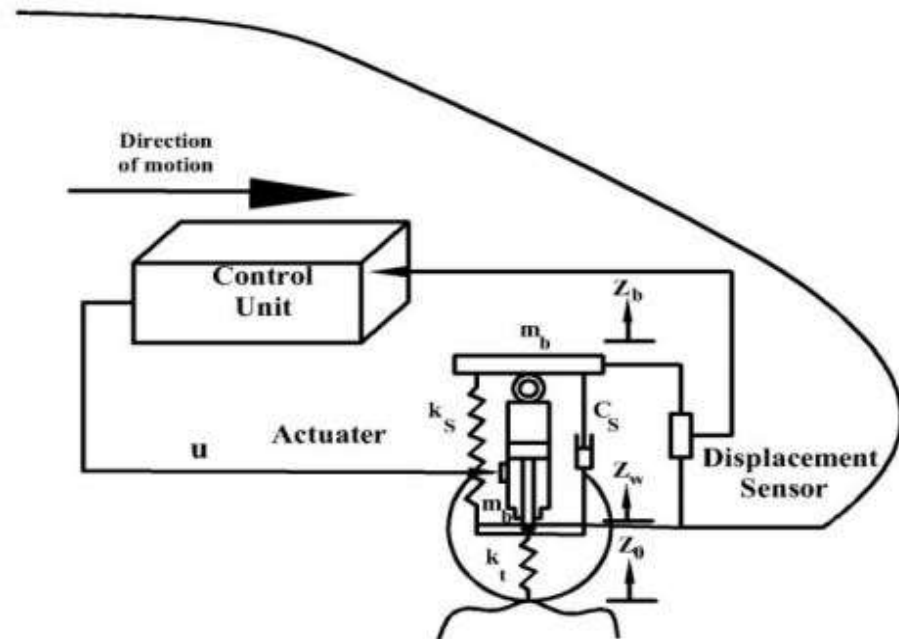
sistem *full* suspensi aktif ditunjukkan pada Gambar 2.1. Koefisien pegas suspensi (K_s), gaya aktuator (U), koefisien pegas pada roda (K_t) dengan konstanta redaman (C) merupakan parameter model yang ada dalam sistem $\frac{1}{4}$ suspensi mobil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model *Full* Suspensi Kendaraan (Soleymania, 2012)

2.2.1 Identifikasi Komponen Sistem Suspensi Aktif

Suspensi adalah sesuatu yang menghubungkan antara badan kendaraan dengan roda. Kenyamanan kendaraan sangat erat hubungannya dengan sistem suspensi kendaraan. Sistem suspensi kendaraan harus mampu mengisolasi atau mengurangi getaran yang terjadi pada badan kendaraan akibat ketidakrataan dari permukaan jalan (Deepa & Swati, 2014).



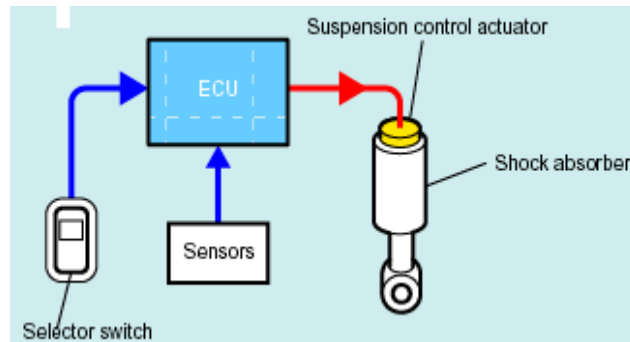
Gambar 2.2 Model ¼ Sistem Suspensi Kendaraan (Ashraf, 2014)

Gambar 2.2 merupakan model untuk ¼ suspensi aktif. Defleksi kendaraan arah vertikal ditunjukkan pada parameter (Z_b, Z_w, Z_u), yang keseluruhan nilai *error* diumpan balik pada sensor perpindahan. Secara prinsip komponen-komponen hampir sama dengan suspensi biasa, hanya saja ada beberapa komponen yang dikontrol secara elektronik sehingga ada beberapa komponen tambahan, antara lain (Gofar, 2004: 3):

- a) *Sensor*, berbagai macam sensor dipasang pada kendaraan untuk mengetahui kondisi kendaraan dan aktivitas pengemudi.
- b) *ECU (Electronic Control Unit)*, semua sinyal dari sensor dibaca oleh ECU dan dengan bantuan memori yang sudah diprogram, sinyal yang masuk diolah untuk menentukan tingkat suspensi sesuai kebutuhan.

- c) *Actuator*, perintah dari ECU dirubah menjadi sinyal elektrik dan langsung diteruskan ke berbagai aktuator untuk mengontrol sistem suspensi

Skema kerja pada kendali elektronik ditunjukkan pada Gambar 2.3 yaitu,



Gambar 2.3 Skema Kerja Suspensi Aktif (Gofar, 2004)

2.2.2 Analisis Performasi Sistem Suspensi

Menurut Wibowo (2011: 4), Dalam analisis peformansi sistem suspensi ada tiga macam aspek yang harus dijadikan sebagai acuan utama, yaitu:

a) *Vibration Oscillation*

Aspek ini dapat dianalisis dengan meninjau respon massa *sprung* (*output*) terhadap eksitasi permukaan jalan (*input*), parameter ini dapat berupa kecepatan atau percepatan.

b) *Suspention Travel*

Defleksi pegas suspensi atau perpindahan relatif antara massa *sprung* dan massa *unsprung* ini didefinisikan sebagai *space* yang diijinkan untuk mengakomodasi gerakan suspensi antara benjolan dan pantulan, yang lebih dikenal dengan sebutan *rattle space*.

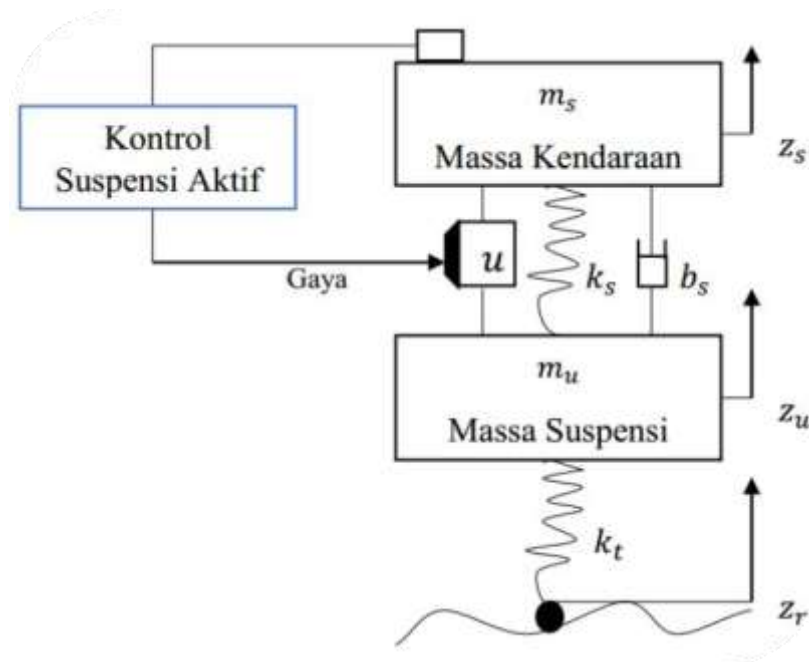
c) *Roadholding*

Kemampuan ban untuk selalu menempel pada permukaan jalan disebut *roadholding* yang didefinisikan sebagai defleksi ban atau displacement relatif antara defleksi massa *unsprung* terhadap permukaan jalan.

2.3 Model Matematika Sistem 1/4 Suspensi Aktif

Mendesain satu sistem suspensi kendaraan merupakan suatu permasalahan *controller* yang menarik dan menantang untuk diselesaikan. Model matematis merupakan langkah penting untuk kontrol vibrasi dari kendaraan. Umumnya, model yang digunakan untuk sistem nyata meliputi beberapa derajat dari perkiraan karena dalam kenyataannya tidak dapat memodelkan secara sempurna (Pfeiffer, 2007: 221).

Berbagai kemungkinan bentuk fungsi matematis dapat diperoleh dari diferensial masalah yang sama. Sistem suspensi 1/4 model dapat digunakan untuk membuat model yang lebih simpel dalam sistem satu dimensi peredam pegas dikarenakan suspensi aktif merupakan suspensi pasif yang diberi aktuator maka untuk perancangan suspensi aktif tidak jauh beda. Sistem 1/4 Suspensi aktif dapat diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi Aktif Kendaraan

Keterangan dari parameter diatas sebagai berikut:

- (m_s) Massa badan kendaraan (*body sprung*)
- (m_u) Massa suspensi (*body unsprung*)
- (k_s) Koefisien pegas dari sistem suspensi
- (k_t) Konstanta pegas dari roda dan ban
- (b_s) Konstanta redaman dari sistem suspensi
- (u) Gaya keluaran aktuator, gaya yang didesain untuk kontrol
- (z_s) Defleksi badan kendaraan
- (z_u) Defleksi massa ban, (z_r) Daerah permukaan gangguan

Persamaan dinamik sistem dapat diketahui dengan menggunakan hukum II newton, yaitu:

Untuk m_s ,

$$\sum F = m a$$

$$-k_s(Z_s - Z_u) - b_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + u = m_s \ddot{Z}_s$$

$$\ddot{Z}_s = \frac{-k_s(Z_s - Z_u) - b_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + u}{m_s} \quad 2.1$$

Untuk m_u ,

$$\sum F = m a$$

$$k_t(Z_u - Z_r) + b_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + k_s(Z_s - Z_u) - u = m_u \ddot{Z}_u$$

$$\ddot{Z}_u = \frac{-k_t(Z_u - Z_r) + b_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + k_s(Z_s - Z_u) - u}{m_u} \quad 2.2$$

Dengan memisalkan variabel keadaan menjadi:

$$Z_1 = Z_s - Z_u, \quad Z_2 = \dot{Z}_s, \quad Z_3 = Z_r - Z_u, \quad Z_4 = \dot{Z}_u \quad 2.3$$

Dimana,

$Z_s - Z_u$ = Defleksi suspensi

\dot{Z}_s = Kecepatan badan kendaraan

\ddot{Z}_s = Percepatan badan kendaraan

$Z_u - Z_r$ = Defleksi roda

\dot{Z}_u = Kecepatan roda

Dengan menurunkan persamaan-persamaan variabel keadaan diatas maka diperoleh fungsi keadaan (*state space equation*):

$$\dot{Z}(t) = Az + Bu + f(t)$$

Dengan,

$$\begin{aligned}
 \dot{Z}_1 &= \dot{Z}_s - \dot{Z}_u \approx Z_2 - Z_4 \\
 \dot{Z}_2 &= \ddot{Z}_s \\
 \dot{Z}_3 &= \dot{Z}_u - \dot{Z}_r \\
 \dot{Z}_4 &= \ddot{Z}_u
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Dalam bentuk matrik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_1 \\ \dot{Z}_2 \\ \dot{Z}_3 \\ \dot{Z}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{k_s}{m_s} & -\frac{b_s}{m_s} & 0 & \frac{b_s}{m_s} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_s}{m_u} & \frac{b_s}{m_u} & \frac{k_t}{m_u} & -\frac{b_s}{m_u} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} U + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} Z_r \tag{2.5}$$

Tabel 2.1 State Space Model (Ozgun & Ilknur, 2012)

TIPE SISTEM	STATE-SPACE MODEL
$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t)$ $y(t) = Cx(t) + Du(t)$	Kontinu time invariant
$\dot{x} = A(t)x(t) + B(t)u(t)$ $y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t)$	Kontinu time invariant
$\dot{x}(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$ $y(k) = Cx(k) + Du(k)$	Diskret time invariant
$\dot{x}(k+1) = A(k)x(k) + B(k)u(k)$ $y(k) = C(k)x(k) + D(k)u(k)$	Diskret time invariant

Tabel 2.1 memberikan informasi bahwa model $\frac{1}{4}$ suspensi mobil yang dibangun merupakan *kontinu time invariant*. Spesifikasi data kendaraan yang dipergunakan dalam studi perancangan ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter Model Sistem ¼ Suspensi (Ashraf, 2014)

Parameter	Numerik	Satuan
m_s	290	Kg
m_u	59	Kg
k_s	16812	N/m
k_t	190000	N/m
b_s	2000	Ns/m

2.4 Kontrol PID

Kontrol PID merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. Selain itu sistem ini mudah digabungkan dengan metoda pengaturan yang lain seperti *Fuzzy* dan *Robust*. Kendali PID merupakan gabungan dari tiga macam pengendali, yaitu kontroler proporsional (*Proportional Controller*), kontroler integral (*Integral Controller*), dan kontroler turunan (*Derivative Controller*) yang dapat dirumuskan:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad 2.6$$

dengan,

m = sinyal keluaran kendali

e = sinyal kesalahan penggerak

T_i = waktu integral

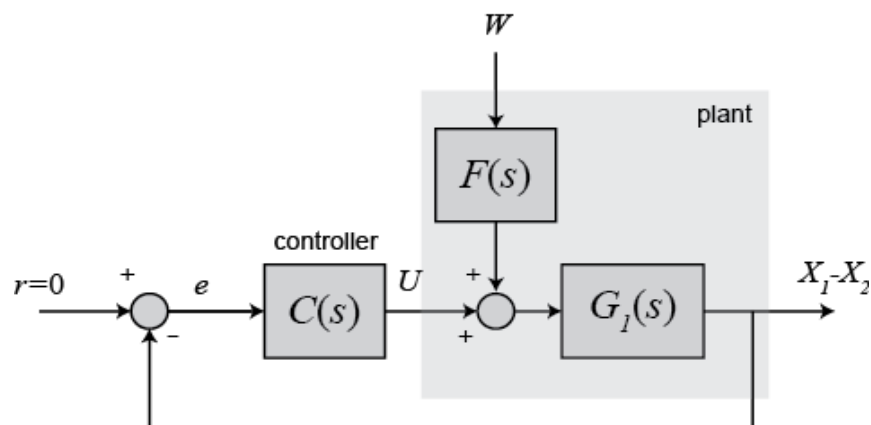
K_p = sensitifitas proporsional / penguatan

T_d = waktu derivatifnya

Setelah dilakukan ekspansi, persamaan 2.6 menjadi:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad 2.7$$

Tujuan dari penggabungan ketiga macam pengendali tersebut adalah untuk memperbaiki kinerja sistem di mana masing-masing kendali saling melengkapi dan menutupi dengan kelemahan dan kelebihan masing-masing. Keluaran kendali PID merupakan jumlahan dari keluaran kendali proporsional, keluaran kendali integral, dan keluaran kendali derivatif (Nyoman, 2004: 85). Dalam mengetahui unjuk kerja pada sistem *closed-loop* diperlukan diagram blok yang sesuai. Diagram blok yang dimaksud yaitu ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Blok Diagram Untuk *Unity Feedback Systems* (MathWorks, 2014)

Sistem *plant* yang dikendalikan dinyatakan dalam blok $G_1(s)$ dengan kendali pada $C(s)$. Input yang digunakan berupa gangguan W dan masukan konstan $r = 0$, dengan keluaran yang didapatkan berupa defleksi kendaraan sistem yaitu $X_1 - X_2$. Sinyal e merupakan sinyal error, menyatakan selisih antara masukan $r = 0$ dengan keluaran $X_1 - X_2$.

Kendali PID memiliki *transfer function* sebagai berikut:

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad 2.8$$

Masing-masing Kendali dari PID memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai *konstanta*. Setiap jenis memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, dapat dilihat pada Tabel 2.2:

Tabel 2.3 Respon Kendali PID Terhadap Perubahan Konstanta (Chiou, 2009)

<i>Closed-Loop Response</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>SS Error</i>
K_p	Turun	Naik	Sedikit perubahan	Turun
K_i	Turun	Naik	Naik	Hilang
K_d	Sedikit perubahan	Turun	Turun	Sedikit perubahan

Parameter-parameter tersebut tidak bersifat independen, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya diubah, maka mungkin sistem tidak bereaksi seperti yang diinginkan. Tabel di atas hanya dipergunakan sebagai pedoman jika melakukan perubahan konstanta. Dalam merancang suatu kontrol PID biasanya digunakan metode *trial & error*, sehingga perancang harus mencoba kombinasi pengatur beserta konstantanya untuk mendapatkan hasil terbaik dan paling sederhana.

Desain sebuah sistem kontrol, dimulai dengan membuat blok diagram sistem. Blok diagram (yang berisi *transfer function*) tersebut selanjutnya dianalisis

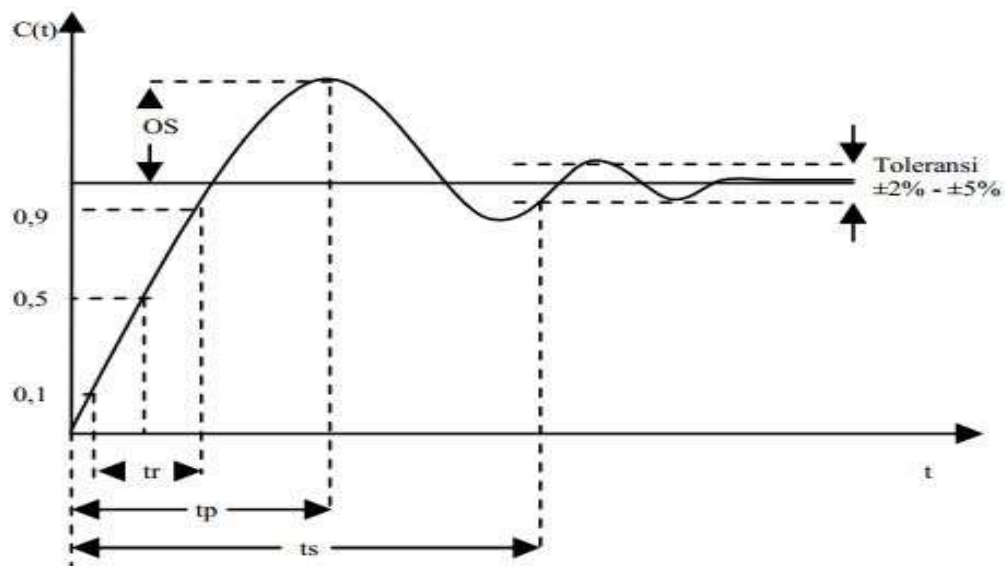
dengan menggunakan aksi pengontrolan yang berbeda. Dengan perubahan sinyal input sehingga perancang dapat melihat respon sistem jika mendapat input sinyal tertentu. Kombinasi antara sinyal input dan jenis aksi pengontrolan ini menghasilkan respon yang berbeda-beda.

Menurut Ogata (1994: 238) pada tanggapan transien ada beberapa parameter yang perlu diketahui, yaitu:

- a) Waktu Tunda (*Delay Time*), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai separuh dari harga akhirnya untuk pertama kali.
- b) Waktu Naik (*Rise Time*), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk naik dari **10% – 90%** nilai akhir.
- c) Waktu Puncak (*Peak Time*), waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai puncak pertama kali.
- d) Persen *Overshoot*, perbandingan nilai puncak maksimum dengan nilai akhir, *overshoot* ini hanya terjadi pada sistem yang kurang teredam ($\zeta < 1$).
- e) Waktu Penetapan (*Settling Time*), adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai **$\pm 2\%$** dari nilai keadaan tunak (*steady state*), dan
- f) Kesalahan Keadaan Tunak (*Steady State Error*), adalah perbedaan antara keluaran yang dicapai saat tunak dengan nilai yang diinginkan.

Dalam mendapatkan respon yang diinginkan, ada beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu:

- a) *Plotting* respon sistem terbuka (*open-loop*) untuk menentukan bagian mana yang harus diperbaiki (*rise time, settling time, overshoot, steady state error*).
- b) Menambahkan kendali P untuk memperbaiki *rise time*.
- c) Menambahkan kendali D untuk memperbaiki *overshoot*.
- d) Menambahkan kendali I untuk menghilangkan *steady state error*.
- e) Membuat kombinasi konstanta yang ada untuk mendapatkan respon yang diinginkan.



Gambar 2.6 Respon Sistem Step Untuk Sistem Orde Dua (Hany, 2013)

2.5 Kontrol Logika *Fuzzy*

Prinsip dasar kontrol logika *fuzzy* sebenarnya sangat sederhana. Bila pada pengontrol konvensional, sistem yang dikontrol dimodelkan secara analitis oleh sejumlah persamaan diferensial yang solusinya menentukan aksi kontrol yang harus diberikan pada sistem, maka kontrol logika *fuzzy* didasarkan pada suatu

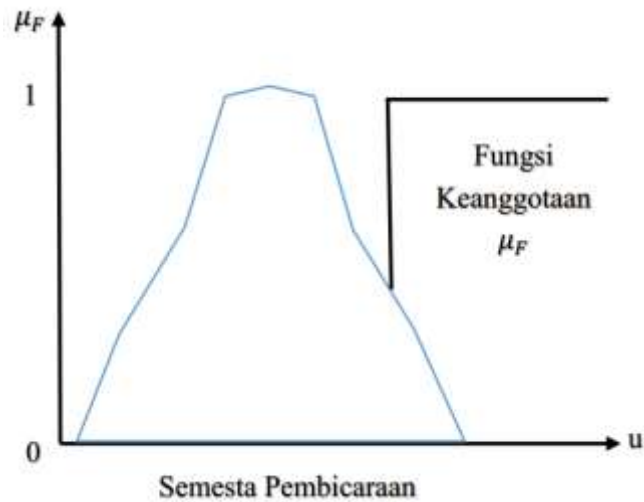
model logika yang merepresentasikan proses berfikir seorang operator ketika sedang mengontrol suatu sistem.

Kontrol logika *fuzzy* menggunakan basis pengetahuan dan ungkapan linguistik yang merepresentasikan cara kerja operator manusia. Dimana aturan kontrol ini merupakan himpunan aturan-aturan kontrol linguistik yang diturunkan secara heuristik berdasarkan keadaan proses dan pengalaman operator, sehingga tidak memerlukan model matematik proses (*plant*). Dengan kata lain, kontrol logika *fuzzy* merupakan suatu kontroler yang pada prinsipnya merubah strategi kontrol linguistik ke dalam strategi kontrol otomatis.

2.5.1 Logika *Fuzzy* dan Himpunan *Fuzzy*

Konsep himpunan *fuzzy* dikenalkan pertama kali oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 (Klir & Yuan, 1995). Teori himpunan *fuzzy* didasari oleh logika *fuzzy* yang merupakan perluasan dari logika *Boolean*. Pada logika *Boolean* terdapat tingkat logika 1 dan 0 yang menyatakan benar dan salah, sedang pada logika *fuzzy* terdapat tingkat logika antara 0 dan 1 yang menyatakan tingkat kebenaran dan merupakan ciri fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy*.

Jika U adalah kumpulan objek-objek yang dilambangkan $\{u\}$, maka U dinyatakan sebagai semesta pembicaraan, dan u adalah elemen dari U . Himpunan *fuzzy* F dalam semesta pembicaraan U dikarakterisasi dengan fungsi keanggotaan μ_F selanjutnya disebut membership function. μ_F memiliki kemungkinan nilai dalam interval $[0,1]$.



Gambar 2.7 Himpunan *Fuzzy* dan Fungsi Keanggotaan (Maryanto, 2008)

Dalam fungsi matematika dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_F = U \rightarrow [0,1] \quad 2.9$$

Himpunan *fuzzy* F dalam himpunan semesta U dapat direpresentasikan sebagai pasangan antara elemen u dan tingkat fungsi keanggotaannya, atau

$$F = \{(u, \mu_F(u)) / u \in U\} \quad 2.10$$

Semua elemen u dalam U yang memberikan nilai $\mu_F(u) > 0$ disebut penyokong (*support*) dari himpunan *fuzzy* yang bersangkutan. Dalam hal dimana $\mu_F(u) > 0,5$ maka u disebut sebagai titik silang dan himpunan *fuzzy* dimana penyokongnya bernilai 1,0 disebut sebagai *fuzzy tunggal* (*singleton*).

Jika F adalah suatu *fuzzy tunggal* yang menyokong u , maka ditulis:

$$F = \mu_F(u)/u \quad 2.11$$

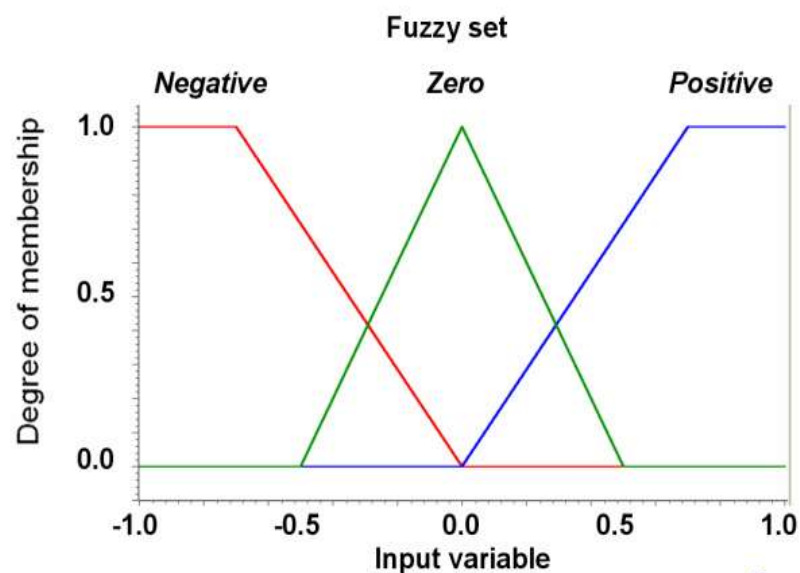
Dimana $\mu_F(u)$ adalah tingkat keanggotaan u didalam himpunan F , selanjutnya himpunan *fuzzy* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F = \int \mu_F(u)/u, \text{ jika } u \text{ kontinu} \quad 2.12$$

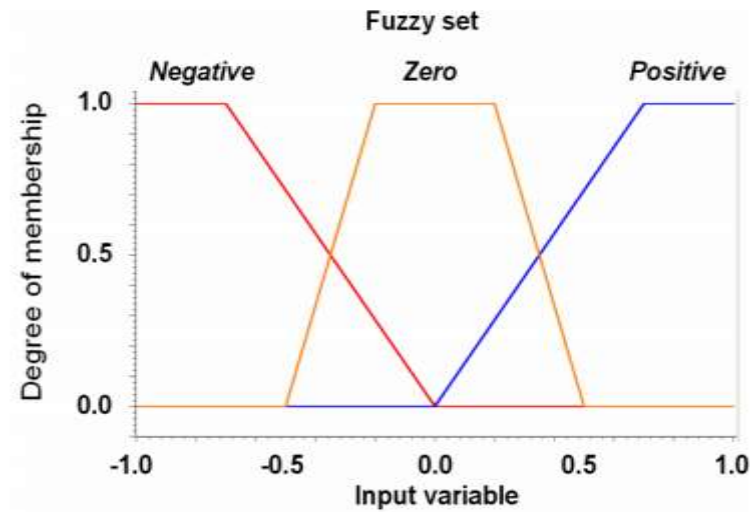
$$F = \sum_{i=1}^n [\mu_F(u_i)/u_i], \text{ jika } u \text{ diskret} \quad 2.13$$

2.5.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah fungsi yang kontinu dalam range [0,1]. Fungsi keanggotaan ini menunjukkan derajat keanggotaan nilai “*crisp*” dalam himpunan *fuzzy*. Banyak bentuk kurva yang digunakan untuk mendesain fungsi keanggotaan *fuzzy*, antara lain: “*triangular, trapezoidal*”.



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Triangular (Wang & Tom, 2005)



Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Trapezoidal (Wang & Tom, 2005)

2.5.3 Operasi Himpunan *Fuzzy*

Misalkan A dan B adalah dua himpunan *fuzzy* dalam himpunan semesta U dengan fungsi keanggotaan masing-masing μ_A dan μ_B . Operasi-operasi teori himpunan seperti komplemen, gabungan dan irisan untuk himpunan *fuzzy* didefinisikan sebagai berikut:

1. Komplemen dari A (A')

Komplemen himpunan *fuzzy* A dinyatakan dengan

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad 2.14$$

2. Irisan dari A dan B ($A \cap B$)

Irisan himpunan *fuzzy* A dan B yang mempunyai derajat keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(y)$ dinyatakan dengan persamaan

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad 2.15$$

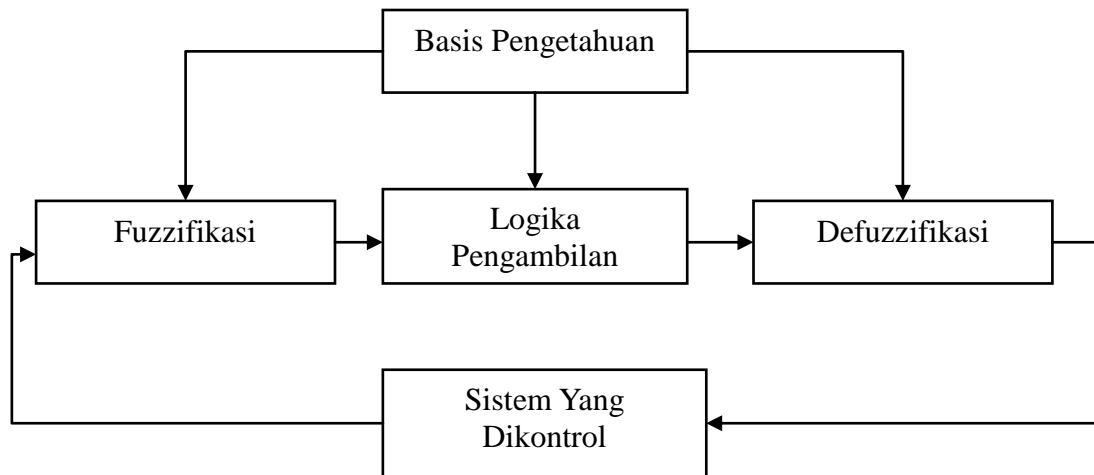
3. Gabungan dari A dan B ($A \cup B$)

Gabungan himpunan *fuzzy* A dan B yang mempunyai derajat keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(y)$ dinyatakan dengan persamaan

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad 2.16$$

2.5.4 Konfigurasi Dasar Kontrol Logika *Fuzzy*

Untuk memperlihatkan konfigurasi dasar suatu kontrol logika *fuzzy* diperlukan empat komponen utama, yaitu masing-masing:



Gambar 2.10 Konfigurasi Kontrol Logika *Fuzzy* (Hyniova, 2013)

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi bertujuan untuk mentransformasikan masukan nyata yang bersifat bukan *fuzzy* ke himpunan *fuzzy*.

Pada dasarnya fuzzifikasi memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Mengukur nilai variabel masukan.

- b. Melakukan pemetaan berskala yang merubah jangkauan dari nilai variabel masukan kedalam semesta pembicaraan yang bersangkutan.
- c. Merumuskan fungsi fuzzifikasi yang merubah data masukan ke dalam nilai linguistik yang sesuai, yang digunakan sebagai label dari himpunan *fuzzy*.

Menurut Wang, sebagaimana dikutip oleh Sumardi, *et al* (2000) ada tiga tipe fuzifikasi yaitu:

1) Fuzifikasi Tunggal (*singleton*)

Fuzifikasi tunggal ini memetakan titik bernilai real $x^* \in U$ kedalam himpunan *fuzzy* A' yang memiliki nilai keanggotaan 1 di x^* dan 0 di titik yang lain.

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x = x^* \\ 0 & \text{jika sebaliknya} \end{cases} \quad 2.17$$

2) Fuzifikasi Gaussian

Fuzifikasi ini memetakan $x^* \in U$ kedalam himpunan *fuzzy* A' yang mempunyai fungsi keanggotaan Gaussian.

$$\mu_{A'}(x) = \left(e^{-\frac{(x_1 - x_1^*)^2}{a_1}} \right) \dots \dots \left(e^{-\frac{(x_n - x_n^*)^2}{a_n}} \right) \quad 2.18$$

dengan:

- a) t -norm, ini bisa dipilih perkalian aljabar atau *min*
- b) a_i = parameter bernilai positif ($i = 1, \dots, n$)

3) Fuzifikasi (*triangular*)

Fuzifikasi ini memetakan $x^* \in U$ kedalam himpunan *fuzzy* A' yang mempunyai fungsi keanggotaan segitiga

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} \left(1 - \frac{|x_1 - x_1^*|}{b_1}\right) \cdots \left(1 - \frac{|x_n - x_n^*|}{b_n}\right) & \text{jika } |x_n - x_n^*| \leq b_i, i = 1, 2, \dots, n \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases} \quad 2.19$$

2. Basis pengetahuan

Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis kaidah atur.

Basis data mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas ruang-ruang masukan dan keluaran. Basis kaidah atur berisi kaidah-kaidah kontrol.

3. Logika pengambilan keputusan

Logika pengambilan keputusan adalah cara pengambilan keputusan dengan menggunakan implikasi *fuzzy* dan mekanisme penarikan kesimpulan.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses perubahan himpunan *fuzzy* ke sinyal yang bersifat bukan *fuzzy*.

2.5.5 Basis Data

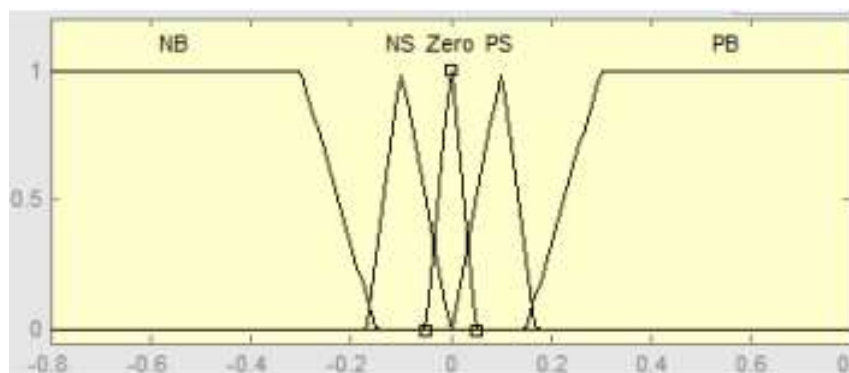
2.5.5.1 Diskritisasi Semesta Pembicaraan

Untuk merepresentasikan informasi yang mengandung ketidakpastian, maka diperlukan kuantisasi informasi sehingga informasi ini dapat diolah dalam komputer digital. Tiap segmen kuantisasi merupakan penyokong himpunan *fuzzy*.

Biasanya semesta pembicaraan didiskritisasi menjadi lima tingkat himpunan *fuzzy* (NB, NS, ZE, PS, PB).

2.5.5.2 Pembagian Ruang Masukan dan Keluaran Fuzzy

Pada pembagian ini dilakukan pembagian semesta pembicaraan masukan dan keluaran menjadi variabel linguistik himpunan *fuzzy*. Pembagian ini menentukan jumlah himpunan *fuzzy* dan kaidah atur yang dapat disusun. Variabel linguistik himpunan *fuzzy* umumnya memiliki arti, seperti NB (*negative big*), NM (*negative medium*), NS (*negative small*), ZE (*zero*), PS (*positive small*), PM (*positive medium*), PB (*positive big*) dan seterusnya. Himpunan *fuzzy* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Variabel *Fuzzy* (Devdutt, 2014)

2.5.6 Basis Aturan Fuzzy (*Fuzzy Rule Base*)

Basis aturan *fuzzy* ini adalah bagian penting dari aturan *fuzzy*, dimana basis ini dapat menyandikan pengetahuan para pakar atau ahli kedalam bentuk aturan “*if – Then*” *fuzzy*.

Standart penulisan aturan “*if – Then*” *fuzzy* sebagai berikut:

If <ekspresi fuzzy> Then <aksi fuzzy>

Dimana aturan <ekspresi fuzzy> disebut dengan “*antisedent*” atau “*premis*”, sedangkan <aksi fuzzy> disebut dengan “*consequent*” atau “*conclusion*”.

Derajat keanggotaan aksi *fuzzy* tergantung dari derajat kebenaran proposisi dari antisedennya. Tiap-tiap aturan terkondisi menunjukkan komparabilitas antara satu kelompok variabel kendali satu atau lebih himpunan *fuzzy*. Nilai kebenaran yang dihasilkan membentuk daerah *fuzzy* yang berhubungan dengan variabel solusi.

Ada dua tipe proposisi *fuzzy* (Wang, 1997) yaitu :

- a) Proposisi *fuzzy* atomic yang merupakan pernyataan tunggal

$$x \text{ is } A \quad 2.20$$

dengan x adalah variabel linguistik

A adalah nilai linguistik dari x

- b) Proposisi *fuzzy* campuran

Proposisi ini menggunakan kata sambung seperti “*and*”, “*or*”, “*Not*”

$$x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } A_2 \quad 2.21$$

Proposisi campuran ini dapat dipahami sebagai relasi *fuzzy*. Untuk menentukan *fuzzy* keanggotaan relasi *fuzzy* dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- a) Untuk “*And*” menggunakan irisan *fuzzy*

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ And } y \text{ is } B$$

maka fungsi keanggotaannya menggunakan bentuk *t-norm*

$$\mu_{A \cap B}(x, y) = t[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad 2.22$$

Dengan $t[\mu_A(x), \mu_B(y)] = \min [\mu_A(x), \mu_B(y)]$

- b) Untuk "Or" menggunakan gabungan *fuzzy*

if x is A Or y is B

maka fungsi keanggotaannya menggunakan bentuk *s-norm*

$$\mu_{A \cup B}(x, y) = s[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad 2.23$$

Dengan $s[\mu_A(x), \mu_B(y)] = \max[\mu_A(x), \mu_B(y)]$

- c) Untuk "Not" menggunakan komplemen *fuzzy*

if x is not A

maka fungsi keanggotaannya adalah

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad 2.24$$

Dalam pembuatan aturan *fuzzy*, biasanya dipengaruhi oleh ada atau tidak adanya proses yang dapat dikendalikan oleh seorang operator. Tetapi jika prosesnya sangat kompleks dan tidak dapat dikendalikan oleh seorang operator, maka model *fuzzy* dapat dibuat dan aturan kendali *fuzzy* diturunkan secara teoritik.

Penyusunan kaidah atur kontrol logika *fuzzy* dalam proses kontrol dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a) Jika keluaran telah sesuai dan deviasi error adalah nol, maka keluaran dari kontrol logika *fuzzy* adalah konstan.
- b) Jika keluaran belum sesuai dengan yang diinginkan, aksi kontrol tergantung pada tanda dan besarnya *error* dan deviasi *error*.
- c) Jika kondisi menunjukkan bahwa *error* dapat dikoreksi dengan cepat oleh aksi kontrol, maka aksi kontrol dijaga tetap.

Dengan kata lain keluaran logika *fuzzy* berubah menurut *error* dan deviasi *error*.

2.5.7 Metode Pembuatan Keputusan *Fuzzy*

Ada dua tipe sistem inferensi (keputusan) *fuzzy* yang dapat diimplementasikan dalam *Fuzzy Logic Controller* Matlab, yaitu tipe Mamdani dan tipe Sugeno (Abroon & Clarence, 2014).

2.5.7.1 Metode Inferensi *Fuzzy* “Mamdani”

Metode ini pertama kalinya dikenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975, dan sering juga dikenal dengan *Metode Max-Min*. Metode ini sangat umum digunakan dalam metodologi *fuzzy* (Jamshidi, 1993). Dalam metode ini, baik masukan (*anteseden*) maupun keluaran (*konsekuen*) sistemnya berupa himpunan *fuzzy*. Tipe aturan penulis *fuzzy* sebagai berikut:

Jika x adalah A dan y adalah B maka z adalah C

Dimana x dan y adalah masukan sedangkan z adalah keluaran sistem. Sementara itu A, B, C adalah himpunan *fuzzy*.

2.5.7.2 Metode Inferensi *Fuzzy* “Sugeno”

Metode ini pertama kalinya dikenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985 (Sumardi, *et al*, 2000). Penalaran metode ini hampir sama dengan metode Mamdani, hanya saja keluaran (*konsekuen*) sistemnya tidak berupa himpunan *fuzzy* melainkan berupa suatu konstanta atau persamaan linier.

Berikut ini tipe-tipe penulisan aturannya:

d) **Jika x adalah A dan y adalah B maka z adalah k**

Dengan k adalah konstanta

e) **Jika x adalah A dan y adalah B maka z adalah**

$$p * q + q * y + r$$

Dengan p, q dan r adalah konstanta.

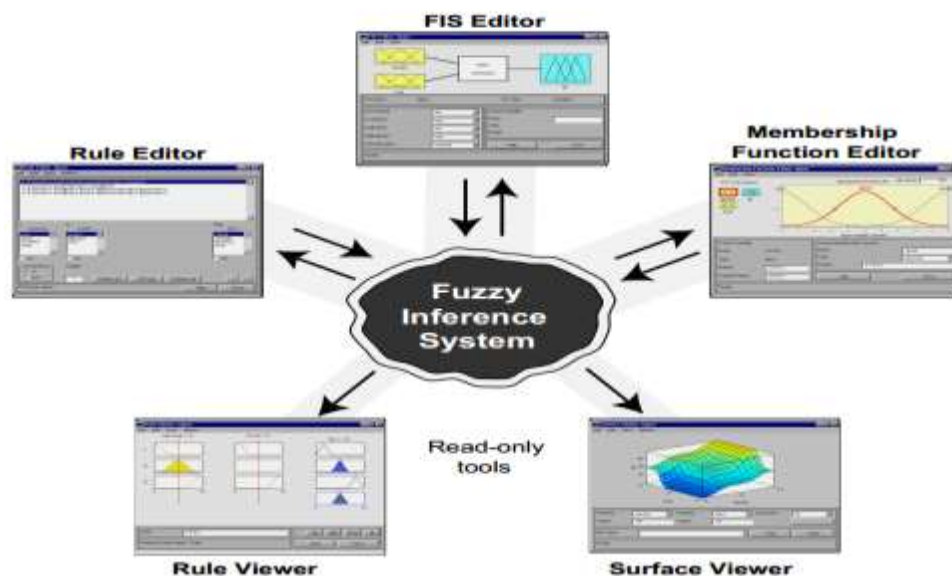
2.5.8 Strategi Defuzzifikasi

Pada dasarnya, defuzzifikasi adalah suatu pemetaan dari ruang aksi kontrol *fuzzy* yang ditentukan meliputi himpunan semesta keluaran (*output universe of discourse*) ke ruang aksi kontrol “*crisp*” $y^* \in V$ (non *fuzzy*). Strategi defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kontrol non *fuzzy* yang paling tepat dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol *fuzzy* yang telah dihitung. Dalam literature metode defuzzifikasi jumlahnya cukup banyak, tetapi ada dua metode yang paling banyak digunakan dalam sistem *fuzzy* dan proses kendali, yaitu:

- 1) Metode pusat bidang (*Center of Area Method*, COA atau Centroid (Matlab)), COA merupakan metode defuzzifikasi dengan memperhitungkan pusat titik berat dari seluruh kemungkinan distribusi aksi kendali.
- 2) Metode maksimum rata-rata (*Mean of Maximum Method*, MOM), MOM adalah metode defuzzifikasi dengan memperhitungkan nilai rata-rata dari seluruh kemungkinan aksi kendali total yang nilai keanggotaannya maksimum.

Dalam penelitian aktif suspensi terdapat dua teknik kontrol yang dilakukan yaitu PID dan FLC (*Fuzzy Logic Controller*), yang keduanya bertujuan untuk mendapatkan peformansi sistem yang sesuai dengan design kriteria yang diinginkan. Teknik yang dilakukan dengan membandingkan hasil peformansi sistem dari kedua teknik tersebut. Membangun sistem kendali *fuzzy* didalam FLT (*Fuzzy Logic Toolbox*) dibutuhkan beberapa tahapan yang harus dilakukan, tahapan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.12.

FIS editor berisi tentang penentuan variabel *fuzzy* input dan output yang akan digunakan dalam penelitian. Penentuan fungsi keanggotan serta *range* himpunan *fuzzy* dapat diterapkan pada tahapan *Membership Function Editor*. Aturan *fuzzy* dibangun menggunakan *rule editor* yang berdasarkan jumlah himpunan *fuzzy*. Hasil rancang bangun *fuzzy inference system* ditampilkan dalam dua data yaitu dalam *surface viewer* dan *rule viewer*.



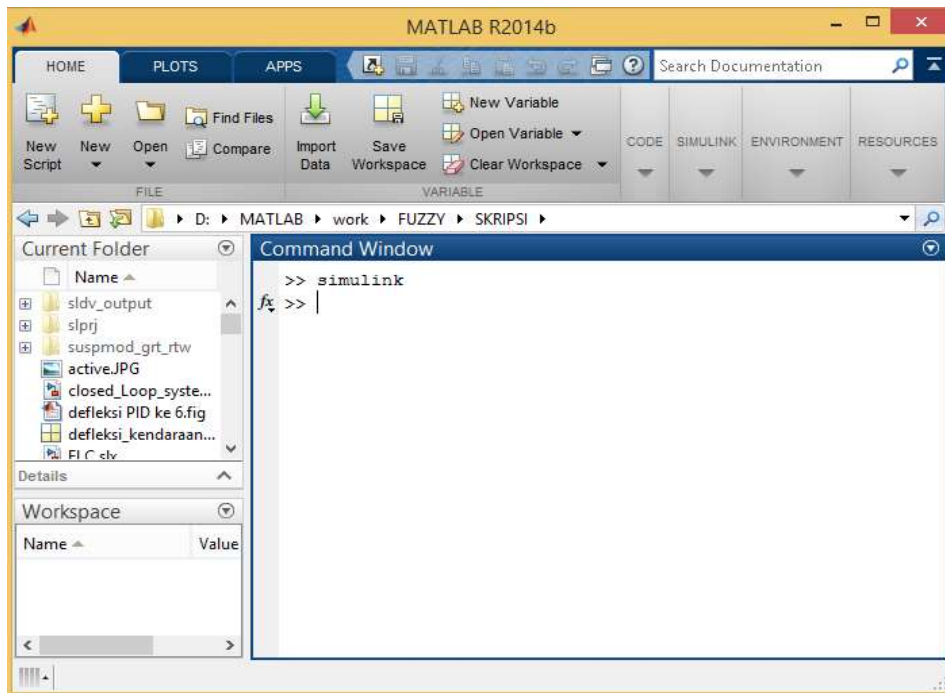
Gambar 2.12 *Fuzzy Inference System* (MathWorks, 2014)

2.6 Matlab R2014b

Matlab merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti *Delphi*, *Basic* maupun *C++*. *Matlab* merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi pemodelan dan grafik-grafik perhitungan (Hany, 2013).

Matlab R2014b merupakan matlab versi 8.4 dengan banyak penyempurnaan dari versi yang sebelumnya. Matlab membawa kesan yang berbeda, hal ini dikarenakan keistimewaan dalam fungsi-fungsi matematika, fisika, statistik, dan visualisasi. *Matlab* dikembangkan oleh *MathWorks*, yang pada awalnya dibuat untuk memberikan kemudahan mengakses data matrik pada proyek *LINPACK* dan *EISPACK*. *Matlab R2014b* dengan memiliki ratusan fungsi yang dapat digunakan sebagai *problem solver* mulai dari simple sampai masalah-masalah yang kompleks dari berbagai disiplin ilmu.

Matlab R2014b dapat digunakan untuk satu jangkauan aplikasi, meliputi pemrosesan sinyal dan komunikasi, proses citra dan video, sistem kendali, test dan pengukuran, komputasi *finance*, dan komputasi biologi. Lebih dari satu juta insinyur dan ahli sains di industri dan *academia* mempergunakan MATLAB, bahasa dari komputasi teknis. Gambar 2.13 merupakan tampilan antar muka Matlab R2014b dengan berbagai macam fiturnya.



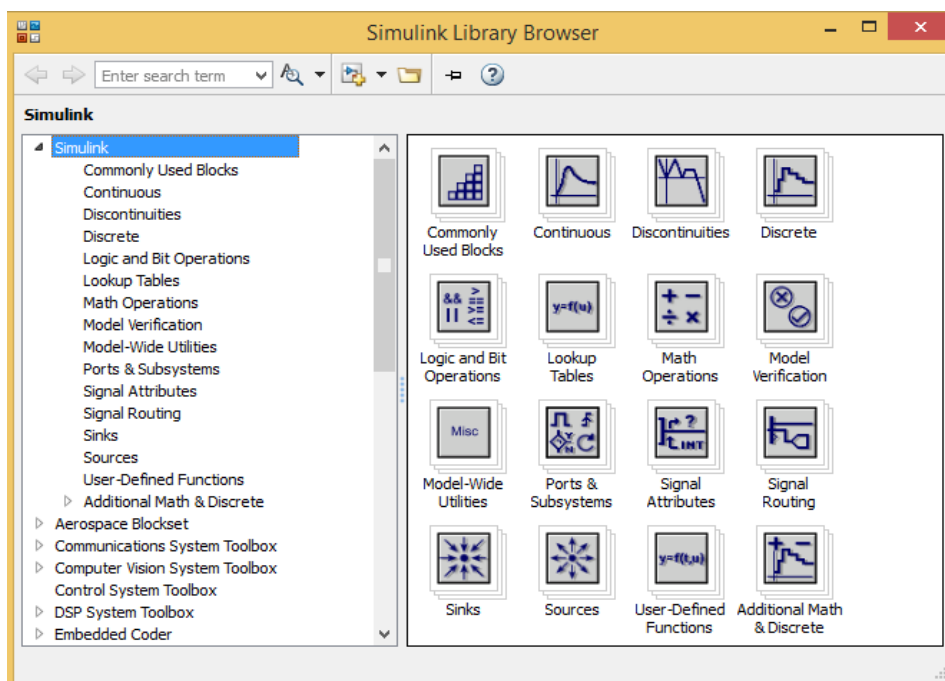
Gambar 2.13 *Matlab R2014b*

Sampai saat ini, para perancang sistem kontrol masih mendapatkan kesulitan untuk mendapatkan *transfer function* suatu sistem. Namun jika persamaan tersebut sudah didapatkan, maka proses analisisnya tidak terlalu sulit. Sebab telah dikembangkan sebuah software yang membantu proses analisis diatas. Salah satu software tersebut adalah *Matlab* dari *Mathworks, Inc*.

2.7 Simulink & SimMechanics

Simulink adalah platform didalam MATLAB yang digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik secara *realtime*. Didalam simulink terdapat berbagai macam toolbox yang dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamik. *Toolbox* yang digunakan adalah *toolbox SimMechanics*. *Toolbox* ini berisi bagian-bagian yang digunakan untuk mensimulasikan sistem mekanik.

Cara penggunaan *SimMechanics* adalah dengan menghubungkan-hubungkan block-block yang ada sesuai dengan desain mekanik yang diinginkan dan mensimulasikannya dengan parameter tertentu. Gambar 2.14 merupakan *Simulink library matlab* yang didalamnya berisi berbagai macam *toolbox* untuk keperluan perancangan sistem. Blok yang ada didalam *Simulink library* dapat digunakan untuk analisis pada sistem kontinu, diskret, operasi logika dan lain-lain. Dalam pembuatan sistem kendali biasanya menggunakan model pada blok *math operation*, yaitu berdasarkan fungsi matematika sistem. Respon hasil simulasi dalam Simulink matlab dapat ditampilkan dalam satu *scope* sehingga analisis yang dilakukan lebih mudah.



Gambar 2.14 *Simulink Library Matlab*

Aplikasi Matlab dalam bidang teknik kontrol dilengkapi *Control Toolbox*. *Toolbox* ini sudah dilengkapi dengan berbagai macam fungsi pendukung yang

dipergunakan dalam analisis sistem kontrol. Beberapa fungsi pendukung yang sering dipergunakan untuk menganalisis suatu sistem adalah: *feedback*, *step*, *rlocus*, *series*, dan lain-lain. Untuk menganalisis suatu sistem, software hanya memerlukan masukan berupa *transfer function* yang ditulis dalam *Laplace Transform* (dalam s-domain) atau matriks. Untuk selanjutnya, pemakai tinggal memilih analisis yang dipergunakan.

2.8 Penelitian Terkait

Susatio, *et al.* (2006) telah melakukan penelitian tentang "Sistem Suspensi Aktif pada Kendaraan Roda Empat menggunakan Pengendali Jenis *Robust Proporsional, Integral, Derivatif*". Sistem kendali robust diartikan jika mempunyai sensitivitas rendah dan mempunyai kestabilan pada rentang variasi parameter. Keadaan yang robust dapat dicapai dengan melakukan penyetelan pada PID sesuai persyaratan konsep robust. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa rancangan sistem suspensi aktif tersebut mampu meredam gangguan jalan terhadap getaran pada badan kendaraan hingga mencapai lebih dari 99% .

Abroon & Clarence (2014) telah melakukan penelitian tentang " *Performance Analysis of a Semiactive Suspension System with Particle Swarm Optimization and Fuzzy Logic Control* " yaitu membandingkan model suspensi pasif dengan semi aktif FLC dan PSO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang telah dirancang bangun performansinya optimal dengan menggabungkan berbagai macam algoritma kontrol termasuk sistem pasif konvensional, *feedback* kontrol dan koefisien redaman.

Nyoman (2004: 83-95) dalam penelitiannya mengenai pengujian prototipe suspensi aktif tegar (robust) model seperempat kendaraan yang hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem suspensi aktif yang dibuat memberikan percepatan massa sprung yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem suspensi pasifnya, dalam rentang frekuensi 1 Hz sampai dengan 4 Hz. Pada rentang frekuensi 5 Hz sampai dengan 9 Hz sistem suspensi aktif memberikan harga percepatan vertikal massa *sprung* lebih besar dari sistem suspensi pasifnya. Demikian juga Chiou (2009: 708) membahas perancangan penggunaan *fuzzy logic controller* untuk sistem suspensi aktif pada mobil dan Andronic (2013) menggunakan sistem $\frac{1}{4}$ suspensi dengan membandingkan hasil kontrol suspensi aktif terhadap pasif, menggunakan sinyal masukan berupa *step* input dan mensimulasikannya dengan software *Simulink Matlab*.

Nurkan (2008: 25) dalam publikasi jurnalnya menyatakan bahwa kontrol suspensi aktif mempunyai lima derajat kebebasan dengan tempat duduk penumpang dan memilih kombinasi kontrol yang tepat untuk kenyamanan penumpang. Dengan model yang sama, Devdutt & Aggarwal (2014) melakukan penelitian tentang "*Fuzzy Control Of Passenger Ride Performance Using MR Shock Absorber Suspension In Quarter Car Model*" yang hasilnya membandingkan metode *Forward Fuzzy Logic Controller* (FFLC) dengan *Inverse Fuzzy Logic Controller* (IFLC) dengan gangguan berupa "*bump road*" yang diplot dalam domain waktu, dan masih banyak lagi.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang. Persiapan dan implementasi desain simulasi serta pemodelan dilakukan di Laboratorium Komputasi Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.

3.1.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat keras (*hardware*) berupa satu buah komputer (*Notebook*) dengan spesifikasi:
 - a) *System model* = ASUS K43SM
 - b) *Operating system* = Windows 8.1 Enterprise 64-bit (6.3, Build 9600)
 - c) *Processor* = Intel® Core™ i5-2450M CPU @2.50 Ghz (4 CPUs)
 - d) *Memory RAM* = 4096 Mb
 - e) *Display adapters* = NVIDIA GeForce GT 630M – 2 Gb
2. Perangkat lunak : Matlab versi R2014b yang terintegrasi dengan Simulink versi 8.4

3.1.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terbagi dalam 2 (dua) tahapan, yaitu:

A. Tahap Persiapan

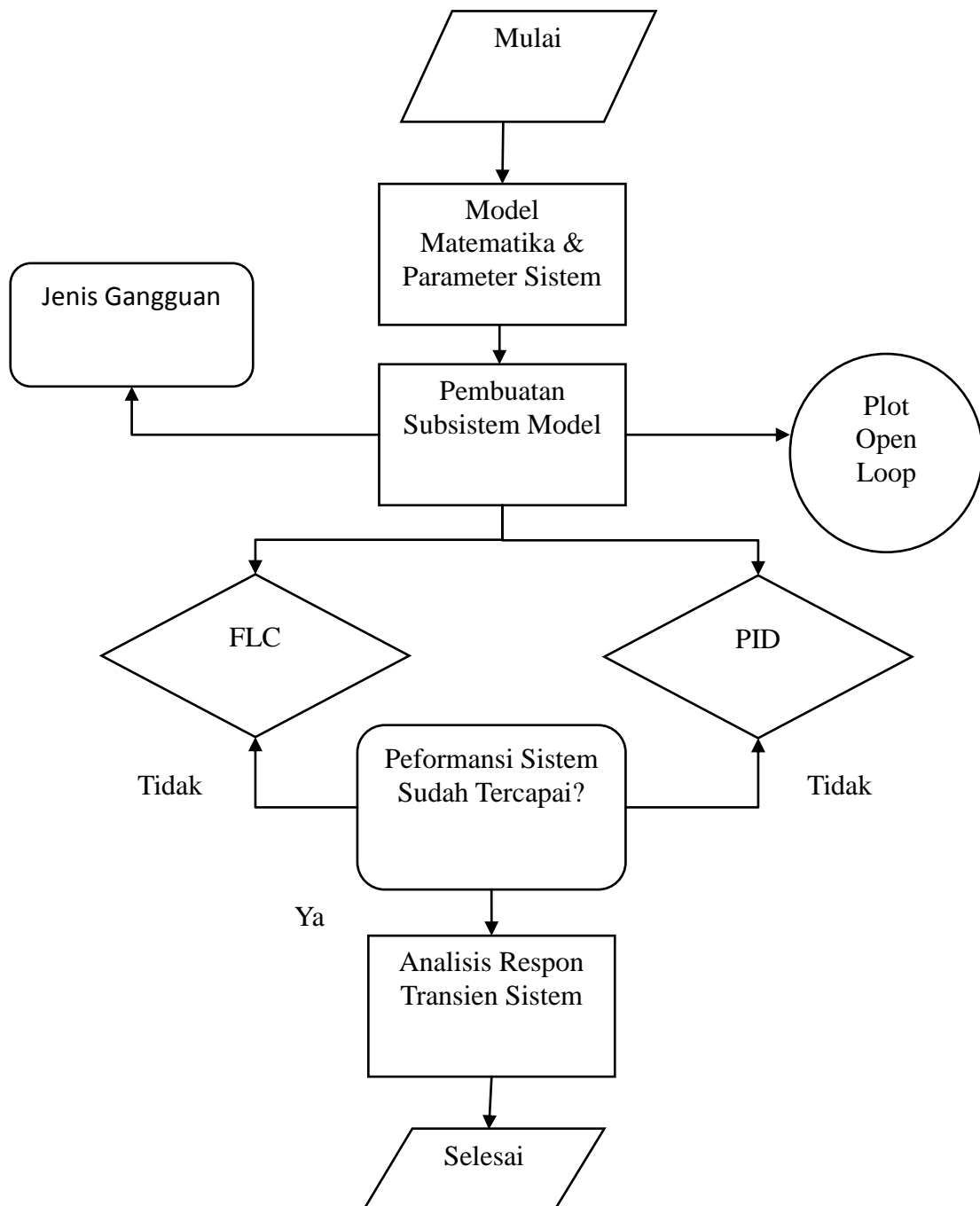
- 1) Pembuatan model matematika sistem dan solusinya
- 2) Penentuan *Transfer Function* (TF)
- 3) Pembuatan model sistem suspensi menggunakan Simulink Matlab
- 4) Penentuan peformansi sistem untuk keadaan *loop* terbuka

B. Tahap Rancang Bangun Sistem

Tahap rancang bangun sistem kendali ini didasarkan pada hasil simulasi yang dilakukan terhadap sistem *open loop*. Model matematika yang dipilih dan diimplementasikan kedalam Simulink Matlab sesuai pada persamaan 2.1 dan 2.2. Input parameter model yang digunakan dalam penelitian sesuai pada Tabel 2.2. Selanjutnya, memasukkan nilai parameter tersebut kedalam subsistem yang telah dibuat pada Simulink Matlab sehingga didapatkan karakteristik sistem untuk keadaan *loop* terbuka. Adapun tahapan-tahapan rancang bangunnya sebagai berikut:

- 1) Pembuatan sistem suspensi aktif mobil menggunakan Simulink Matlab
- 2) Pembuatan sistem kendali PID dan FLC menggunakan Simulink Matlab
- 3) Penetapan desain kriteria
- 4) Melakukan analisis dan membandingkan hasil peformansi sistem dengan kendali PID dan FLC.

Untuk mengetahui alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.2 Teknik Pengujian Sistem dan Analisis Data

Pengujian sistem penelitian ini secara garis besar terdiri dari 5 (lima) tahapan, Tahap pertama, mengimplementasikan model matematika sistem yang telah dibuat kedalam Simulink matlab untuk mendapatkan respon keadaan *open loop* sistem. Pada tahap ini, permasalahan yang menjadi titik fokus penelitian dapat diketahui.

Pengujian pada tahap pertama dilakukan pengujian penentuan *range* gangguan yang diberikan pada sistem. Pengujian variasi konstanta redaman juga dilakukan untuk mendapatkan data *range* defleksi kendaraan yang mudah dilakukan pengontrolan menggunakan PID dan *fuzzy*. Sebelum melakukan teknik kendali PID dan *fuzzy*, dibuat desain *closed loop* sistem $\frac{1}{4}$ suspensi aktif. Pembuatan desain *closed loop* dapat digunakan untuk mengetahui usaha yang seharusnya diperlukan suatu sistem kontrol untuk memaksimalkan hasil peformansi yang sesuai dengan design kriteria.

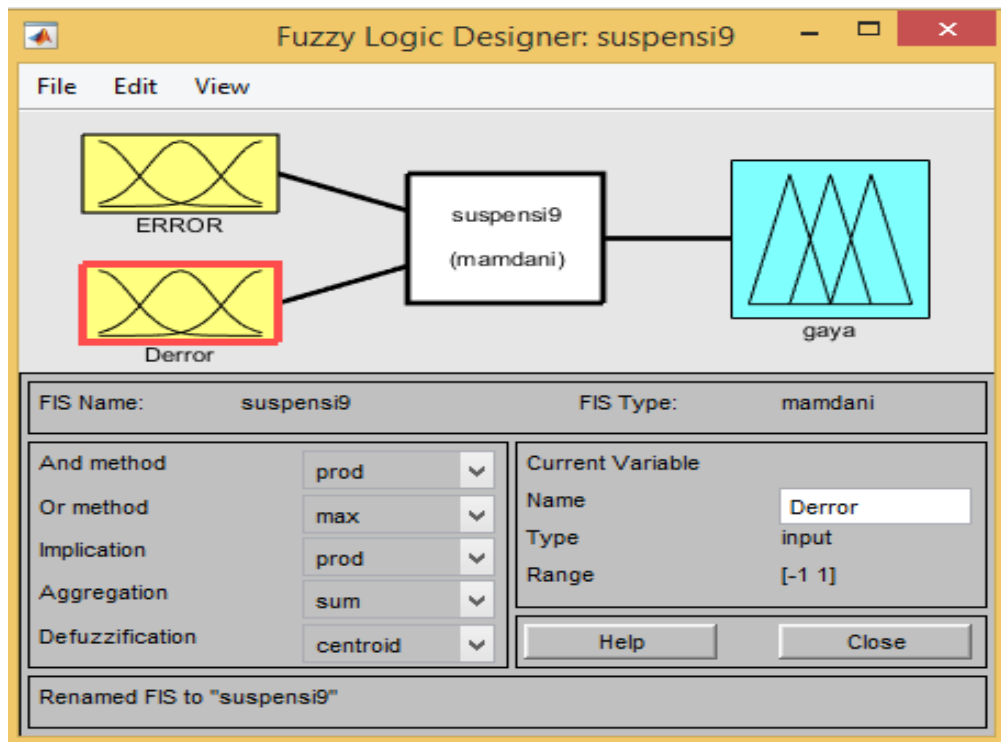
Tahap kedua, membangun sistem kendali PID berbasis *Simulink Matlab* dengan menggunakan metode *tuning* PID kontrol *robust*. *PID tuning* merupakan suatu teknik baru yang dikembangkan *Mathwork* untuk memudahkan penentuan penguatan yang sesuai dengan hasil yang optimal. Hal yang perlu diperhatikan terlebih dahulu yaitu penentuan desain kriteria peformansi yang diinginkan yaitu *overshoot* antara 2% -5% dengan *settling time* kurang dari 5 detik. Kedua indikator tersebut merupakan titik acuan utama dalam mengetahui peformansi sistem yang baik. Selain itu, juga memperhatikan karakteristik respon transien yang lain (*rise time, peak, steady state error*).

Pengujian sistem kendali PID dilakukan berulang kali hingga mendapatkan penguatan yang sesuai dengan desain kriteria. Analisis data yang dilakukan sebanyak 6 (enam) kali dari pengujian pada penguatan K_p, K_i, K_d sehingga dapat diketahui pengaruh penguatan yang diberikan terhadap peformansi sistem yang dihasilkan. Data pada pengujian sistem dengan kendali PID dinyatakan dalam domain waktu (karakteristik respon transien). Respon keluaran dari simulasi keadaan open loop dan sistem kendali PID ditampilkan secara bersama dalam satu *scope* yang didalamnya terdapat respon defleksi vertikal kendaraan, kecepatan vertikal kendaraan, dan percepatan vertikal kendaraan.

Tahap ketiga, melakukan pembuatan FLC (*Fuzzy Logic Controller*) yang dibangun berbasis Simulink Matlab berisi *file FIS (Fuzzy Inference System)* yang dibuat menggunakan FLT (*Fuzzy Logic Toolbox*) Matlab. Sistem FIS terdiri dari berbagai variabel *fuzzy*, himpunan *fuzzy*, fungsi keanggotaan, dan aturan *fuzzy*. Metode pembuatan keputusan *fuzzy* pada sistem $\frac{1}{4}$ suspensi aktif mobil menggunakan metode mamdani. Variabel *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini sesuai pada Tabel 3.1 dan FIS yang dibangun menggunakan FLT dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Tabel 3.1 Variabel *Fuzzy* Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi

Input	Output
$e(Z_s - Z_u)$ Defleksi suspensi	
$de(Z_s - Z_u)$ Defleksi suspensi	Gaya aktuator



Gambar 3.2 FIS Yang Dibangun Menggunakan FLT

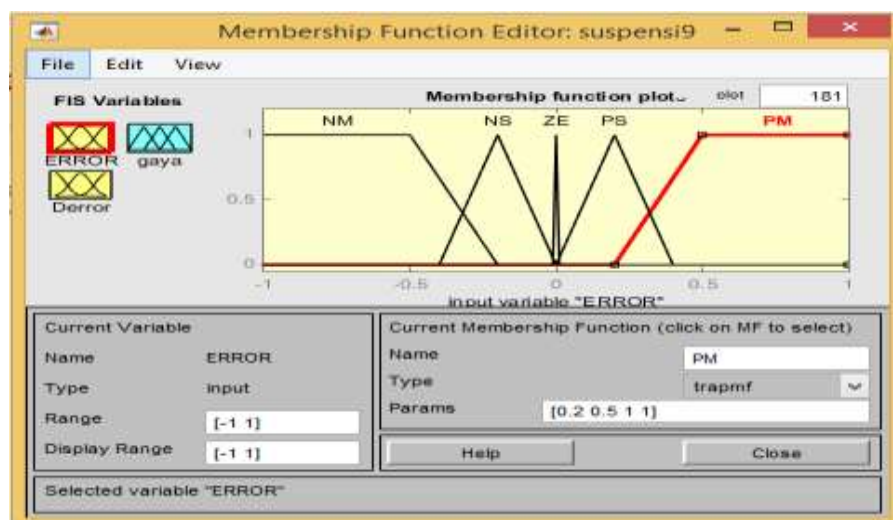
Metode defuzifikasi yang digunakan adalah metode *COA* (metode pusat bidang). Metode *COA* ini menghasilkan pusat gravitasi (titik berat) dari distribusi kemungkinan suatu aksi kontrol. Aturan *fuzzy* yang digunakan dengan mengkombinasikan dari variabel *fuzzy* yang ditentukan. Pada tahap ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.12. Variabel linguistik himpunan *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu NB (*negative big*), NM (*negative medium*), NS (*negative small*), ZE (*zero*), PS (*positive small*), PM (*positive medium*), PB (*positive big*).

Penentuan *range* dan aturan *fuzzy* disesuaikan dengan hasil keluaran *open loop* $\frac{1}{4}$ suspensi aktif. Variasi aturan *fuzzy* dilakukan untuk mengetahui pengaruh aturan *fuzzy* terhadap peformansi sistem kontrol yang diberikan. Variasi yang

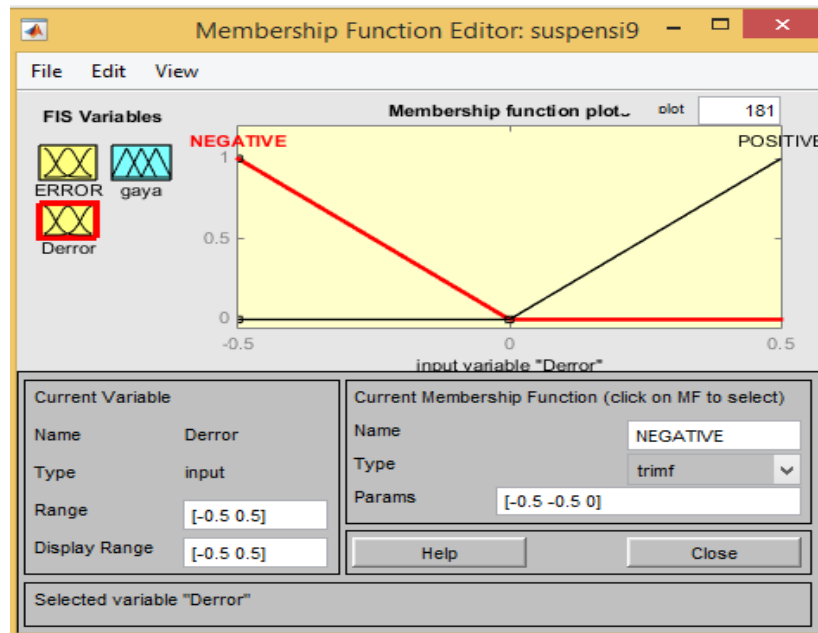
digunakan yaitu 7 aturan, 25 aturan, dan 49 aturan dengan aturan *fuzzy* telah ditentukan sebelumnya. Penentuan jumlah maksimal aturan *fuzzy* berdasarkan pada jumlah himpunan *fuzzy* untuk masing-masing input. Input himpunan *fuzzy* dari kedua variabel *fuzzy* yang digunakan yaitu ada 7 buah, sehingga aturan *fuzzy* maksimal yang dapat dibangun yaitu $7^2 = 49$ aturan.

Bentuk kurva fungsi keanggotaan yang digunakan dalam penelitian yaitu *triangular*, *trapezoidal*, dan campurannya. Pada kendali *fuzzy* dengan 7 aturan digunakan fungsi keanggotaan campuran. Variabel linguistik himpunan *fuzzy* yang digunakan dalam 7 aturan *fuzzy* yaitu input *Error*: NM (*negative medium*), NS (*negative small*), ZE (*zero*), PS (*positive small*), PM (*positive medium*), PB (*positive big*) dan input *dError*: Negative dan Positif.

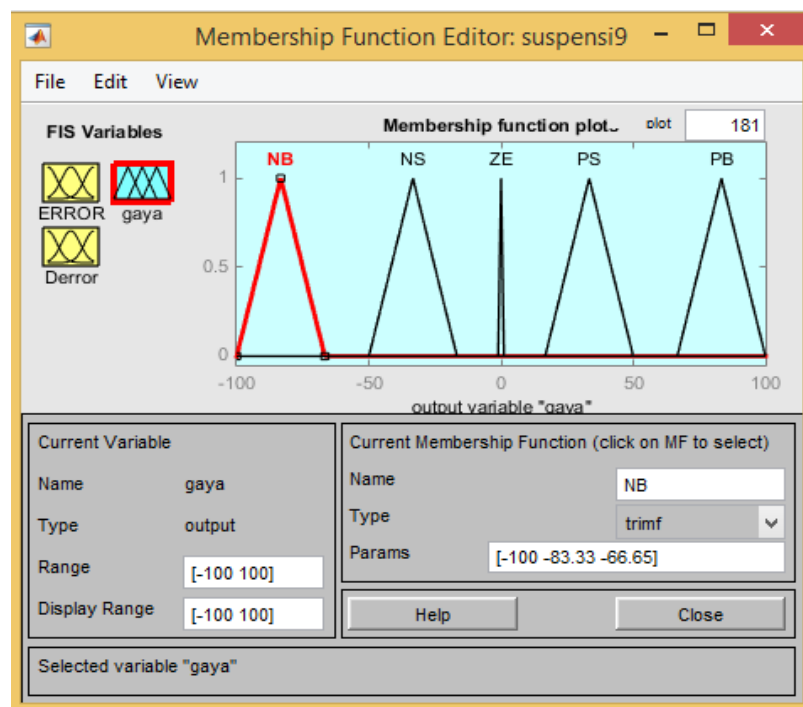
Fungsi keanggotaan *Error* dan *dError* secara berurutan ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4, sedangkan fungsi keanggotaan output gaya ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.3 Masukan Pertama (*Error*) Untuk Pengujian 7 Aturan



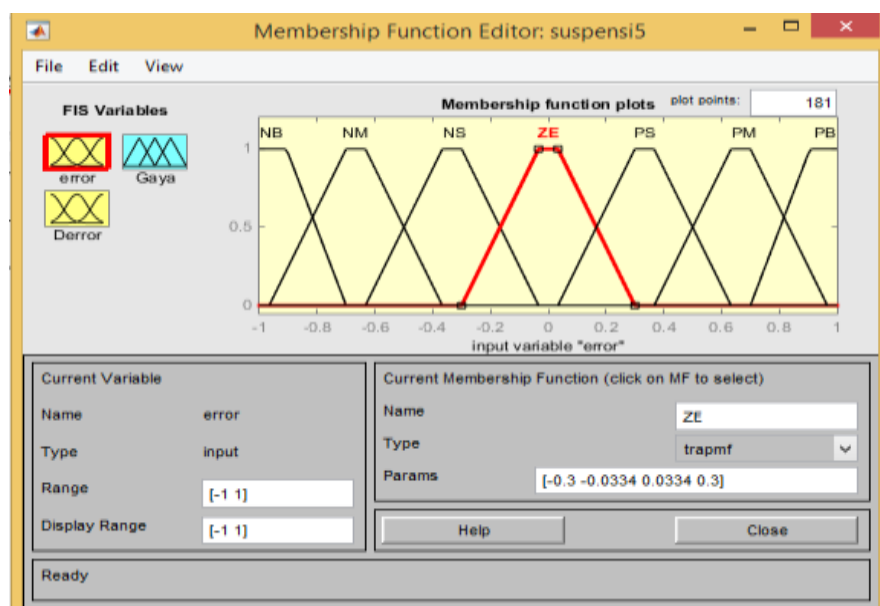
Gambar 3.4 Masukan Kedua (*dError*) Untuk Pengujian 7 Aturan



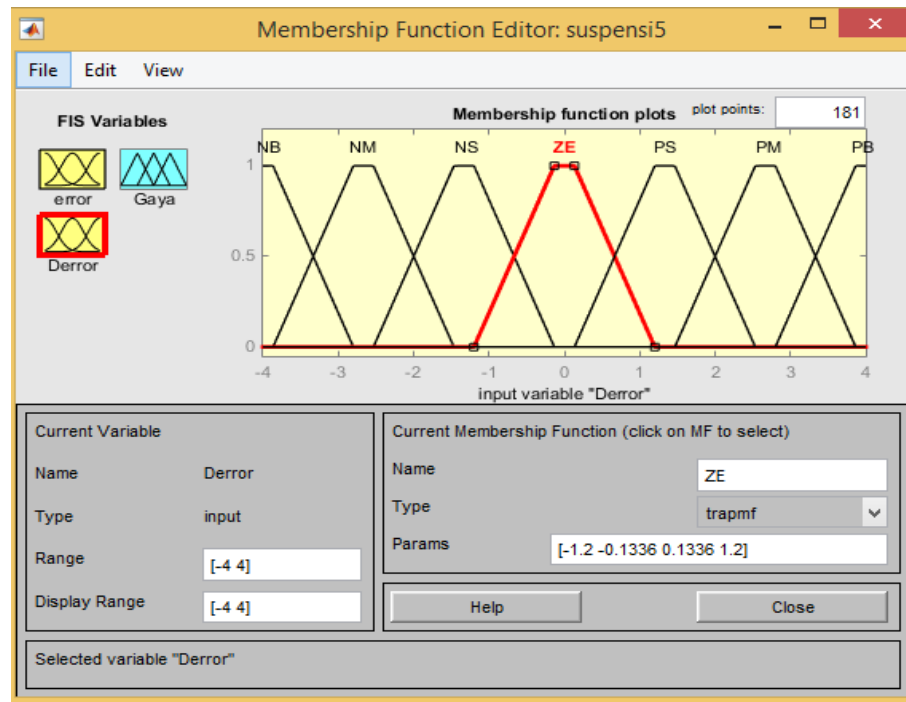
Gambar 3.5 Keluaran (Gaya) Untuk Pengujian 7 Aturan

Penentuan himpunan *fuzzy* serta fungsi keanggotaan *fuzzy* bersifat bebas. *Range* yang digunakan pada variabel *fuzzy* input *Error* yaitu -1 hingga 1 dengan input *dError* yaitu -0.5 hingga 0.5. Penentuan range global pada variabel *fuzzy* disesuaikan dengan karakteristik respon keluaran yang dihasilkan. Range lokal diperlukan untuk memperhalus proses kontrol yang dilakukan. Range *error* dan *Derror* dalam memaksimalkan performansinya berkontribusi untuk pencapaian *rise time* secara cepat dengan *settling time* yang mampu meredam osilasi yang terjadi pada *open loop*.

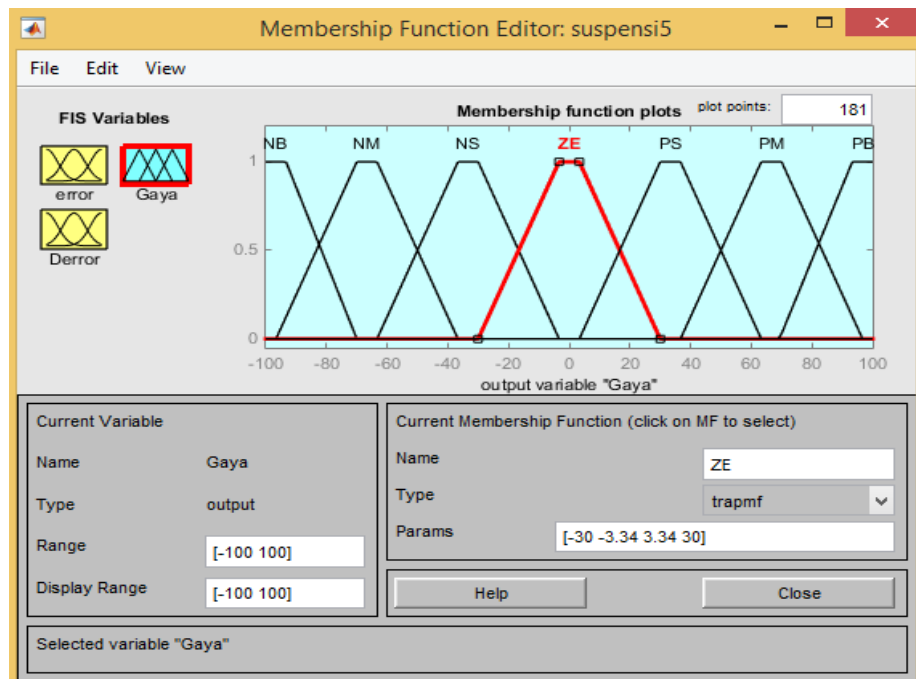
Pengembangan himpunan *fuzzy* serta fungsi keanggotaan pada pengujian 25 aturan dan 49 aturan *fuzzy* dilakukan penambahan dengan bentuk kurva *trapezoidal*, tujuannya yaitu untuk mendapatkan performansi sistem yang sesuai dengan desain kriteria. Himpunan *fuzzy* dan fungsi keanggotaan yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8.



Gambar 3.6 Masukan Pertama (*Error*) Untuk Pengujian 25 & 49 Aturan



Gambar 3.7 Masukan Kedua (*Error*) Untuk Pengujian 25 & 49 Aturan



Gambar 3.8 Keluaran (*Gaya*) Untuk Pengujian 25 & 49 Aturan

Jumlah aturan *fuzzy* maksimal yang digunakan dalam membangun FLC (*Fuzzy Logic Controller*) untuk sistem ¼ suspensi aktif ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Aturan *Fuzzy* dengan *Fuzzy Associative Memory* (FAM)

<i>U</i> (Gaya)		$e(Z_s - Z_u)$ Defleksi Vertikal Kendaraan						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
$Z_s - Z_u$ Defleksi Vertikal Kendaraan	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
	NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
	ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
	PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
	PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Pembacaan penentuan aturan sebagai berikut:

R_1 : IF $e(Z_s - Z_u = NB)$ AND $de(Z_s - Z_u = NB)$ Then ($U = NB$)

R_1 : IF $e(Z_s - Z_u = NB)$ AND $de(Z_s - Z_u = NM)$ Then ($U = NB$), dan seterusnya

Pada Tabel 3.2 menyatakan aturan *fuzzy* maksimal yang dapat digunakan dalam memaksimalkan peformansi sistem ¼ suspensi aktif. Data mengenai variasi aturan *fuzzy* dapat digunakan sebagai indikator dalam mengatasi osilasi pada keadaan *open loop* serta mengetahui secara langsung pengaruh jumlah aturan *fuzzy* terhadap peformansi sistem yang dihasilkan. Teknik variasi aturan *fuzzy* dilakukan setelah mendapatkan *range* parameter *fuzzy* yang tepat dengan aturan

yang telah diuji coba, penelitian dilakukan dan dikembangkan hingga aturan yang batas maksimal yaitu 49 aturan.

Tahap keempat, melakukan analisis hasil peformansi sistem $\frac{1}{4}$ suspensi aktif menggunakan kendali PID dan FLC. Hasil analisis kendali PID ditampilkan dalam data penguatan terhadap peformansi sistem yang dihasilkan. Hasil penelitian pada sistem suspensi aktif mobil dengan kendali PID dinyatakan dalam analisis domain waktu (*settling time, overshoot, rise time, peak time*). Data respon transien dapat dianalisis dengan *Bode plot, control system linier*, serta metode *root locus*. Hasil analisis FLC dilakukan dengan mengimplementasikan aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan kedalam *plant* sehingga dapat diketahui peformansi sistem kontrol yang diberikan.

Tahap kelima membandingkan hasil peformansi sistem dari kedua metode kendali yang diamati dari keluaran peformansi sistem yang dihasilkan sehingga dapat memberikan informasi mengenai kendali yang baik dan memenuhi desain kriteria dengan berbagai macam kelebihan dan kekurangan dalam proses kendalinya.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Analisis model $\frac{1}{4}$ suspensi aktif dengan kendali PID dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) telah berhasil dilakukan. Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil pengujian simulasi, yaitu:

1. Peformansi sistem $\frac{1}{4}$ suspensi aktif mobil pada kondisi *loop* terbuka, respon keluaran defleksi kendaraan yang dihasilkan belum sesuai dengan masukan yang diberikan. Peformansi *overshoot*, *settling time*, *rise time*, dan SSE (*Steady State Error*) yang dihasilkan pada keadaan *loop* terbuka sangat jauh dari desain yang ditetapkan. Karena sistem belum sesuai, diperlukan sistem kendali untuk memperbaiki kinerja sistem suspensinya.
2. Penguatan kendali PID dilakukan dengan metode *PID tuning* secara berulang kali hingga mendapatkan peformansi yang optimal (sesuai dengan desain kriteria). Pemberian penguatan sebesar $K_p = 9558.3589$, $K_i = 57244.9325$, $K_d = 22.9008$ menghasilkan peformansi sistem yang optimal yaitu *settling time* = 1.7 sekon, dengan *overshoot* = 2.09%, *peak time* = 1.02, *rise time* = 0.304 sekon. Pengujian dengan metode FLC dilakukan dengan variasi aturan *fuzzy* yaitu 7 aturan, 25 aturan dan 49 aturan. Hasil peformansi sistem FLC yang optimal ditunjukkan pada

pemberian 49 aturan *fuzzy* yaitu *settling time* = 1.05 sekon, *overshoot* = 2.78%, *peak time* = 0.51, *rise time* = 0.4 sekon.

3. Secara umum, Metode FLC lebih mudah dilakukan dengan hasil peformansi sistem yang lebih baik daripada kendali PID. Parameter *settling time* dan *peak time* pada pengujian FLC lebih baik daripada pengujian dengan kendali PID. Hasil peformansi sistem dengan pengujian FLC paling sesuai dengan desain kriteria yang ditetapkan. Faktor keamanan secara vertikal dan kenyamanan pada mobil dapat ditingkatkan dengan metode kendali PID dan FLC.

5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

- 1) Merancang sistem kendali yang dapat menurunkan percepatan badan kendaraan sekaligus dapat menjamin defleksi suspensi yang lebih kecil dengan kendali PID *Fuzzy* dengan sistem *Non-Linier*.
- 2) Membangun sistem *full* suspensi aktif dengan analisis tidak hanya vertikal saja melainkan analisis horizontal dan rotasional dengan menambahkan kecepatan sudut serta dapat memanfaatkan fasilitas GUI.
- 3) Membangun sebuah model suspensi aktif dengan analisis tidak hanya dua derajat kebebasan, sehingga didapatkan data yang kompleks dan memperhitungkan faktor ketidaklinieran pada pegas yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abroon, J. Q., & Clarence W. S. 2014. Performance Analysis of a Semiactive Suspension System with Particle Swarm Optimization and Fuzzy Logic Control. *Hindawi Publishing Corporation the Scientific World Journal*. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.1155/2014/174102> [diakses 4-12-2014].
- Andronic, F. 2013. Passive Suspension Modeling Using Matlab, Quarter Car Model, Input Signal Step Type. *TEHNOMUS - New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*.
- Anggoro, A. 2013. Aplikasi Fuzzy Logic Control Pada Sistem Suspensi Semi-Aktif Model Kendaraan Seperempat. *Skripsi*. Semarang: UNDIP.
- Ashraf, E. 2014. Desain a semi-Active Suspension System for a Quarter Vehicle Model using Fuzzy Logic Control (FLC). *International Research Journal of Scientific Findings*, Vol. 1 (2):030-036, May.
- Chiou, J. S. 2009. Using Fuzzy Logic Controller and Evolutionary Genetic Algorithm for Automotive Active Suspension System. *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 10, No. 6:703–710.
- Chuanyin, T., Lijie, Y., & Lixin, G. 2008. Fuzzy Logic Control for Vehicle Suspension Systems. *Journal of Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. ICIRA, Part II: 197–206.
- Dadang, G. 2012. Pengolahan Sinyal Digital Dengan Pemrograman Matlab. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Deepa, P., & Swati, K. 2014. Desain and Simulation of Fuzzy Controlled Suspension. *Journal of Electronics and Communication Engineering*. SSRG-IJECE, Vol. 1, Juli.
- Devdutt, M. & L. Aggarwal. 2014. Fuzzy Control Of Passenger Ride Performance Using MR Shock Absorber Suspension In Quarter Car Model. *Journal of Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.
- Emir, L. S. 2005. Fuzzy Logic Control Of Vehicle Suspensions With Dry Friction Nonlinearity. *Journal of adhana*, Vol. 30, Part 5: 649–659. *India*.
- Ebrahimi, N., & Gharaveisi, A. 2012. Optimal Fuzzy Supervisor Controller for an Active Suspension System. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*: 36-39, Vol. 2, September.
- Gad, S., Metered, H., & Bassuiny, A. 2015. Vibration Control of Semi-active MR Seat Suspension for Commercial Vehicles Using Genetic PID Controller. *International Publishing Switzerland*. Proceedings of VETOMAC X. UK: University of Manchester.

- Gofar, A. M. 2004. Perancangan Pengaturan Sistem Suspensi Aktif Pada Model Kendaraan Setengah dengan Menggunakan Metode Kontrol Optimal LQR. *Artikel ilmiah* .Semarang: UNDIP.
- Hamed, M., Tesfa, B., & Andrew D. B. 2015. Vehicle Suspension Performance Analysis Based on Full Vehicle Model for Condition Monitoring Developmen. *Springer International Publishing*. Switzerland.
- Hany, F. 2013. *Desain PID Controller dengan Software Matlab*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Hyniova, K., & Smitkova, L. 2013. An Innovative Active Suspension System for Autonomous Vehicles: A Safe and Comfortable Ride and Good Handling. In *ERCIM NEWS*, Vol. 1, No. 94: 28-29. France: Published by ERCIM EEIG.
- John, E., Ekoru, D., & Jimoh, O. P. 2013. Proportional-Integral-Derivative Control Of Nonlinear Half-Car Electro-Hydraulic Suspension Systems. *Journal of Zhejiang University*. SCIENCE A (Applied Physics & Engineering 14(6):401-416.
- Maryanto. 2008. *Teknik Ototronik Sistem Suspensi Pada Mobil*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Mehrdad, N. K., & Vahid, A. 2007. Comparison between Optimized Passive Vehicle Suspension System and Semi Active Fuzzy Logic Controlled Suspension System Regarding Ride and Handling. *International Journal of Mechanical*, Vol.1.
- Mirji, S. G., & Arockia, S. A. 2014. Fuzzy Logic Control for Half Car Suspension System Using Matlab. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 3, Issue 3: 2278-0181, March.
- Mujde, T., & Nurkan, Y. 2013. Fuzzy Logic Control For Active Bus Suspension System. *IOP Publishing Journal Of Physics*, pp. 410-414. Tersedia di <http://iopscience.iop.org/1742-6596/410/1/012006> [diakses 4-12-2014].
- Nemat, C., & Modjtaba, R. 2011. Comparing PID and Fuzzy Logic Control a Quarter Car Suspension System. *The Journal of Mathematics and Computer Science*, Vol .2 No.3: 559-564. Islamic Azad University of Gonabad Branch.
- Nguyen, L. H., Hong, K.S., & Park, S. 2010. Road-Frequency Adaptive Control for Semi-Active Suspension Systems. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 8(5):1029-1038.
- Nurkan, Y. 2008. Different Control Applications On A Vehicle Using Fuzzy Logic Control. *Journal adhana*, Vol. 33, Part 1:15–25. India.

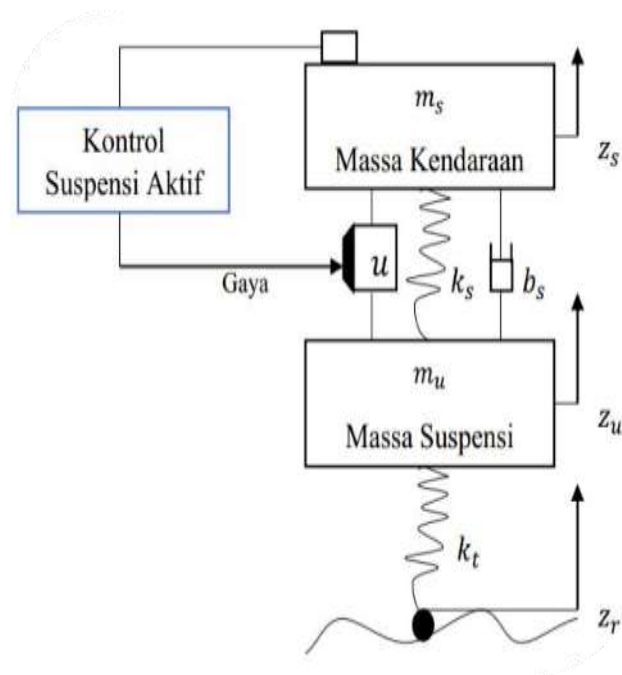
- Nyoman, B. 2004. Pengujian Prototip Suspensi Aktif Tegar (Robust) Model Seperempat Kendaraan. *PROC.ITB Sains & Tek*, Vol.36 A,No.1: 83-95.
- Ogata, K. 1994. *Teknik Kontrol Automatic (Sistem Pengaturan), Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Oni, B., Sumardi & Aris, T. 2013. Desain Auto Tuning PID Menggunakan Logika Fuzzy Pada Sistem Suspensi Aktif Tipe Paralel Nonlinear Model Kendaraan Seperempat. *Jurnal Teknik Elektro*, 15(3): 114-120. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Ozgur, D., & Ilknur, K. 2012. Modeling and Control of a Nonlinear Half-Vehicle Suspension System: a Hybrid Fuzzy Logic Approach. *Springer Science+Business Media B.V*, 67: 2139–2151.
- Pfeiffer, F. 2007. Deregularization of a Smooth System-Example Hydraulics. *Nonlinear Dyn.* 47: 219–233.
- Pekgökgöz, R. K., Gürel, M. A., & Kısa, M. 2010. Active Suspension Of Cars Using Fuzzy Logic Controller Optimized By Genetic Algorithm. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)* Vol.2, Issue 4: 27-37.
- Sakman, L. E., Guclu, R., & Yagiz, N. 2005. Fuzzy logic control of vehicle suspensions with dry friction non-linearity. *Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 30(5): 649–659.
- Sam, Y.M., Osman, H.S., & Ghani, M. R. 2004. A Class of Proportional-Integral Sliding Mode Control with Application to Active Suspension System. *System and Control Letters*. 51:217-223
- Sathishkumar. P., Jancirani. J., & Dennie John. 2013. Reducing the Seat Vibration of Vehicle by Semi Active Force Control Technique. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(2): 473-479. India: Anna University.
- Setyobudi, A. D. 2010. “Simulasi dan Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Semi-Aktif Model Seperempat Kendaraan”. *Tugas Akhir*. Bandung: ITB.
- Shehata, A., Metered, H., & Walid A.H. 2015. Vibration Control of Active Vehicle Suspension System Using Fuzzy Logic Controller. *Springer International Publishing Switzerland*. Proceedings of VETOMAC X. UK: University of Manchester.
- Soleymania, M., & Montazeri, M. 2012. Adaptive Fuzzy Controller For Vehicle Active Suspension System Based On Traffic Conditions. *Journal of Scientia Iranica B*, 19(3): 443–453.

- Sumardi, Wahyudi, & Imam, S. 2000. Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Semi-Aktif Menggunakan “Fuzzy Logic Control” Pada Model Kendaraan Seperempat. *Laporan Penelitian Proyek Pengkajian Ilmu Pengetahuan Terapan*. Semarang: UNDIP.
- Susatio, Biyanto, & Totok R. 2006. Perancangan Sistem Suspensi Aktif Pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Pengendali Jenis Robust Proporsional, Integral, Derivatif. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 8(2). Surabaya: ITS.
- Tesna, D. 2012. Perancangan Sistem Suspensi Aktif Nonlinier Tipe Paralel dengan Kendali HYbrid Fuzzy PID Pada Model Kendaraan Seperempat. *Skripsi*. Semarang: UNDIP.
- The MathWorks, Inc. 2014. Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide © COPYRIGHT.
- Wang, L & Tom, K. 2005. VHDL-AMS Based Genetic Optimization of a Fuzzy Logic Controller for Automotive Active Suspension Systems. UK: University of Southampton.
- Wibowo. 2011. Perancangan Karakteristik Sistem Suspensi Semi Aktif Untuk Meningkatkan Kenyamanan Kendaraan. *Jurnal Mekanika*, Vol. 10 No. 1. Surakarta: UNS.
- Yerri, S., & Totok, R. B. 2006. Perancangan Sistem Suspensi Aktif pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Pengendali Jenis Robust Proporsional, Integral dan Derivatif. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 8, No. 2: 44 – 48. Surabaya: ITS.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Solusi Analitik Pengujian Kendali PID

Pembuatan desain dengan *Simulink matlab* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan persamaan differensial sistem. Persamaan differensial sistem ¼ suspensi aktif sebagai berikut:



Gambar L.1 Model ¼ Suspensi Aktif Mobil

Dengan menggunakan hukum II Newton dapat diketahui dinamika persamaan sistem:

Untuk m_s ,

$$\Sigma F = m a$$

$$-k_s(z_s - z_u) - b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + u = m_s \ddot{z}_s$$

$$\ddot{z}_s = \frac{-k_s(z_s - z_u) - b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + u}{m_s}$$

L.1

Untuk m_u ,

$$\sum F = m a$$

$$k_t(Z_u - Z_r) + b_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + k_s(Z_s - Z_u) - u = m_u \ddot{Z}_u$$

$$\ddot{Z}_u = \frac{-k_t(Z_u - Z_r) + b_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) + k_s(Z_s - Z_u) - u}{m_u} \quad \text{L.2}$$

Setelah didapatkan persamaan differensial orde biasa diatas, maka dilakukan analisis Transformasi Laplace untuk mendapatkan *Transfer Function* (TF):

- Pemisahan variabel untuk m_s

$$m_s \ddot{Z}_s + k_s(Z_s - Z_u) + b_s(\dot{Z}_s - \dot{Z}_u) = u$$

$$m_s \ddot{Z}_s + b_s \dot{Z}_s + k_s Z_s - b_s \dot{Z}_u - k_s Z_u = u$$

Dilakukan Transformasi Laplace:

$$(m_s s^2 + b_s s + k_s) Z_s(s) - (b_s s + k_s) Z_u(s) = u(s) \quad \text{L.3}$$

- Pemisahan variabel untuk m_u

$$-b_s \dot{Z}_s - k_s Z_s + m_u \ddot{Z}_u + b_s \dot{Z}_u - (k_t + k_s) Z_u = -k_t Z_r - u$$

Dilakukan transformasi Laplace:

$$-(b_s s + k_s) Z_s(s) + (m_u s^2 + b_s s - (k_t + k_s)) Z_u(s) = -k_t Z_r(s) - u(s) \quad \text{L.4}$$

Dalam bentuk matrik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} m_s s^2 + b_s s + k_s & -(b_s s + k_s) \\ -(b_s s + k_s) & m_u s^2 + b_s s - (k_t + k_s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_s(s) \\ Z_u(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u(s) \\ -k_t Z_r(s) - u(s) \end{bmatrix} \quad \text{L.5}$$

Permisalan,

$$\text{Jika } A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}, \text{ maka } A^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$$

Sehingga,

$$A = \begin{bmatrix} m_s s^2 + b_s s + k_s & -(b_s s + k_s) \\ -(b_s s + k_s) & m_u s^2 + b_s s - (k_t + k_s) \end{bmatrix}$$

$$\det A = [(m_s s^2 + b_s s + k_s) \cdot (m_u s^2 + b_s s - (k_t + k_s))] - [(-(b_s s + k_s) \cdot (-(b_s s + k_s)))]$$

Jadi,

$$\begin{bmatrix} Z_s(s) \\ Z_u(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} m_u s^2 + b_s s - (k_t + k_s) & (b_s s + k_s) \\ (b_s s + k_s) & m_s s^2 + b_s s + k_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(s) \\ -k_t Z_r(s) - u(s) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_s(s) \\ Z_u(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} m_u s^2 + k_t & b_s k_t s + k_s k_t \\ -m_s s^2 & m_s k_t s^2 + b_s k_t s + k_s k_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(s) \\ Z_r(s) \end{bmatrix} \quad \text{L.6}$$

Untuk $Z_u(s) = 0$, maka *transfer function* $G_1(s)$ dengan input $u(s)$ adalah:

$$G_1(s) = \frac{Z_s(s) - Z_u(s)}{u(s)} = \frac{(m_s + m_u) s^2 + k_t}{\det A} \quad \text{L.7}$$

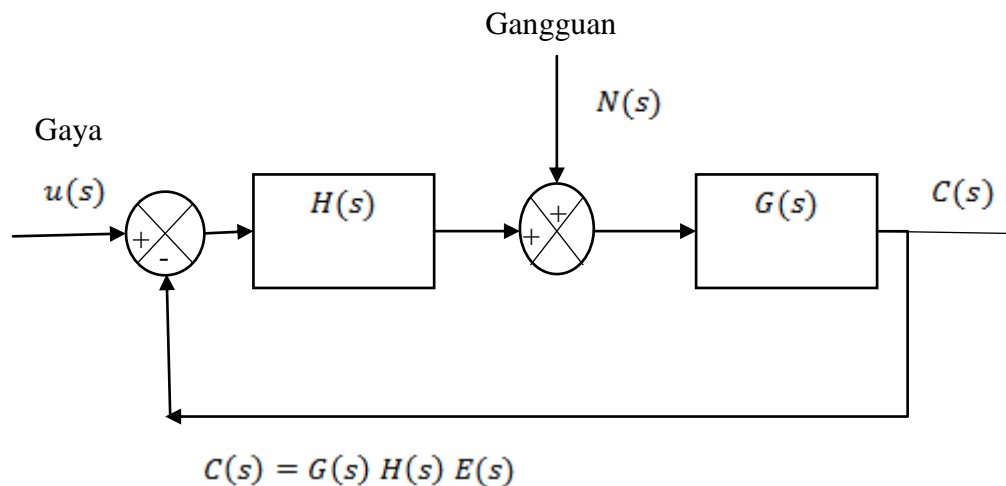
Untuk $u(s) = 0$, maka *transfer function* $G_2(s)$ dengan input $Z_u(s)$ adalah:

$$G_2(s) = \frac{Z_s(s) - Z_u(s)}{u(s)} = -\frac{m_s k_t s^2}{\det A} \quad \text{L.8}$$

Dengan *transfer function* kendali PID yaitu:

$$H(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad \text{L.9}$$

Analisis sistem *loop* tertutup dengan menggunakan diagram blok:



$$C(s)\{1 + G(s)H(s)\} = G(s)H(s)u(s)$$

$$\frac{C(s)}{u(s)} = \frac{G(s)H(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Perhitungan respon dengan sinyal input gangguan $C_N(s)$, $u(s) = 0$ yaitu:

$$\frac{C_N(s)}{N(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad \text{L.10}$$

Respon terhadap masukan $u(s)$ dengan gangguan $C_N(s) = 0$,

$$\frac{C_u(s)}{u(s)} = \frac{G(s)H(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad \text{L.11}$$

Jika sistem diterapkan secara serentak maka akan didapatkan input $u(s)$ dengan gangguan $N(s)$:

$$\begin{aligned} C(s) &= C_u(s) + C_N(s) \\ &= \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} [G(s)u(s) + N(s)] \end{aligned} \quad \text{L.12}$$

Dengan,

$H(s)$ = Transfer function kendali yang ditetapkan $N(s), u(s)$ = input

$G(s)$ = Plant sistem

$C(s)$ = output

Contoh perhitungan sistem kontrol $H(s)$ menggunakan K_p :

Respon terhadap masukan $u(s)$ dengan gangguan $C_N(s) = 0$,

$$\frac{C_u(s)}{u(s)} = \frac{G(s)H(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

$$\frac{C_u(s)}{u(s)} = \frac{-\frac{m_s k_t s^2}{\det A} K_p}{1 + \left(-\frac{m_s k_t s^2}{\det A}\right) K_p}$$

$$\frac{C_u(s)}{u(s)} = \frac{1}{\frac{1}{-\frac{m_s k_t s^2}{\det A} K_p} + 1}$$

$$\frac{C_u(s)}{u(s)} = \frac{1}{\frac{\det A}{-m_s k_t s^2 K_p} + 1} \quad \text{L.13}$$

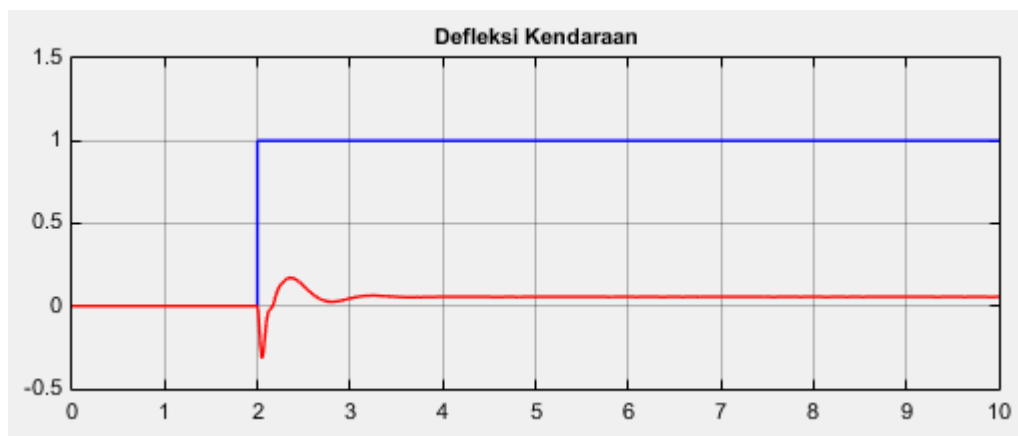
desain kriteria yang ditetapkan:

- a) *Overshoot* = 2 % - 5 %
- b) *Rise time* = 2 sekon
- c) *Settling time* = 3 sekon
- d) *SSE (steady state error)* = 0 %

Persamaan L.13 merupakan fungsi alih dari sistem ¼ suspensi aktif mobil dengan kendali proporsional (K_p). Setelah didapatkan fungsi alih, maka dilakukan simulasi secara “*trial and error*” dari hasil penguatan. m.file dalam matlab:

```
%menentukan nilai parameter model
ms=290;
mu=59;
ks=16812;
kt=190000;
bs=2000;
%kendali H(s) yang digunakan yaitu kp
kp=1000;
num=1;
detA=[ (ms*mu) ( (ms*bs) + (mu*bs)) ( (mu*ks) + (mu*ks) + (bs*kt) ) ];
den=[ (detA/(-ms*kt*kp)) 0 1 ]];
step(num,den)
title('defleksi kendaraan')
```

Setelah dilakukan simulasi, didapatkan respon keluaran defleksi kendaraan dengan sinyal masukan berupa fungsi undak:



Gambar L.2 Defleksi Kendaraan Kendali $K_p = 1000$

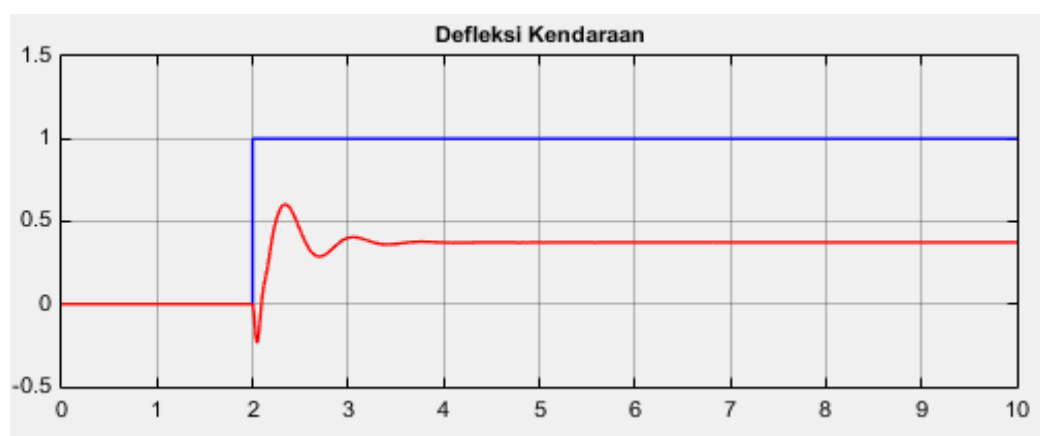
Tabel L.1 Peformansi Sistem Kendali $K_p = 1000$

Parameter Respon	Peformansi Sistem
Rise time	0.236 sekon
Settling time	1.1 sekon
Overshoot	23.7 %
Peak	0.0694

Karena sistem belum sesuai dengan desain kriteria dan masukan yang diberikan, maka diperlukan perbaikan kendali. Kendali k_p ditambahkan sebesar 10 kali, yaitu $K_p = 10000$.

```
%menentukan nilai parameter model
ms=290;
mu=59;
ks=16812;
kt=190000;
bs=2000;
%kendali H(s) yang digunakan yaitu kp
kp=10000;
num=1;
detA=[ (ms*mu) ((ms*bs)+(mu*bs)) ((mu*ks)+(mu*ks)+(bs*kt)) ];
den=[ (detA/(-ms*kt*kp)) 0 1 ];
step(num,den)
title('defleksi kendaraan')
```

Respon keluaran defleksi vertikal kendaraan yang dihasilkan yaitu:

**Gambar L.3** Defleksi Kendaraan Kendali $K_p = 10000$

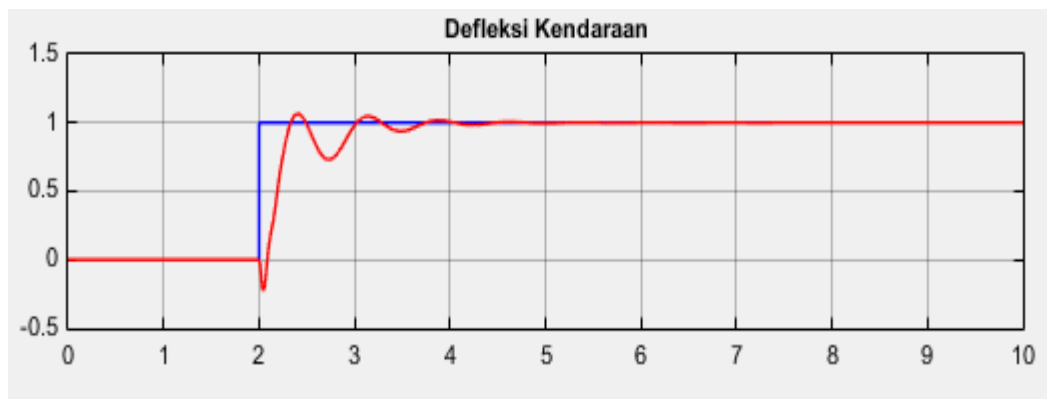
Tabel L.2 Peformansi Sistem Kendali $K_p = 1000$

Parameter Respon	Peformansi Sistem
Rise time	0.188 sekon
Settling time	1.23 sekon
Overshoot	32.5 %
Peak	0.494

Kendali yang dilakukan masih belum sesuai dengan desain kriteria yang ditetapkan, sehingga diperlukan pengujian secara “*trial and error*” yang tepat secara berulang kali. Data pengujian kendali PID yang telah berhasil dilakukan pada pengujian 1-6 pada bab 4. Penguatan sistem yang optimal pada kendali PID ditunjukkan pada Tabel L.3, dengan hasil peformansi sistemnya ditunjukkan pada Gambar L.4 dan Tabel L.4.

Tabel L.3 Penguatan Kendali PID

Parameter Kontrol	Nilai Penguatan
P	9558.3589
I	57244.9325
D	22.9008
N	694.6441

**Gambar L.4** Defleksi Kendaraan Kendali PID

Tabel L.4 Peformansi Sistem Kendali PID

Parameter Respon	Peformansi Sistem
Rise time	0.304 sekon
Settling time	1.7 sekon
Overshoot	2.09 %
Peak	1.02
Closed-loop stability	stabil

Hasil kendali PID yang dilakukan sudah sesuai dengan desain kriteria yang ditentukan.

Perhitungan analitik hasil peformansi sistem pada penguatan kendali PID yang paling optimal. $t_r = 0.304$ sekon, dengan $\omega_n \geq \frac{1.8}{t_r}$ maka diperoleh:

$$\omega_n \geq \frac{1.8}{0.304}$$

$$\omega_n \geq 5.92$$

Jadi frekuensi alamiah harus lebih besar dari 5.92. Untuk mengetahui pelemahan pada sistem, dibutuhkan informasi rasio redaman ξ yaitu:

$$\xi \geq \sqrt{\frac{\left(\frac{\ln M_p}{\pi}\right)^2}{1 + \left(\frac{\ln M_p}{\pi}\right)^2}} \quad \text{L.14}$$

$$\xi \geq \sqrt{\frac{\left(\frac{\ln 0.0209}{3.14}\right)^2}{1 + \left(\frac{\ln 0.0209}{3.14}\right)^2}}$$

$$\xi \geq 0.77$$

Dengan menggunakan nilai maksimal overshoot sebesar 2.09% didapatkan nilai rasio redaman yaitu lebih besar dari 0.77.

Maka dengan $t_r = 0.304$ sekon, $\xi = 0.77$ dapat diketahui parameter peformansi yang lain, yaitu:

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \quad \text{L.15}$$

Dengan $\beta = \arctan\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}\right)$ L.16

$$\beta = \arctan\left(\frac{\sqrt{1-0.77^2}}{0.77}\right)$$

$$\beta = 0.67 \text{ rad}$$

Dengan menggunakan persamaan L.15, diperoleh nilai ω_d yaitu:

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}$$

$$2 = \frac{3.14 - 0.67}{\omega_d}$$

$$\omega_d = \frac{2.47}{2} = 1.23 \text{ , dari persamaan } \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \text{ diperoleh nilai frekuensi}$$

alamiah ω_n sebesar:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

$$1.23 = \omega_n \sqrt{1 - 0.77^2}$$

$$\omega_n = \frac{1.23}{0.63} = 1.95 \text{ rad/s}$$

Atenuasi atau pelemahan pada sistem dapat diketahui dari persamaan L.17:

$$\sigma = \xi \omega_n \quad \text{L.17}$$

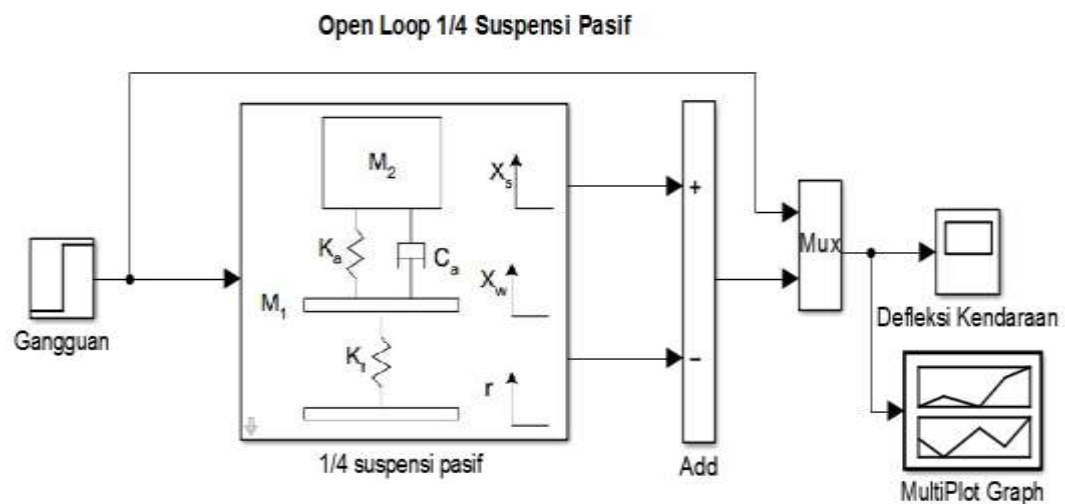
$$\sigma = (0.77)(1.95)$$

$$\sigma = 0.5015$$

Sehingga peformansi sistem yang dihasilkan pada penguatan K_p, K_d, K_i mampu mereduksi defleksi vertikal kendaraan dan sesuai dengan desain kriteria yang ditetapkan.

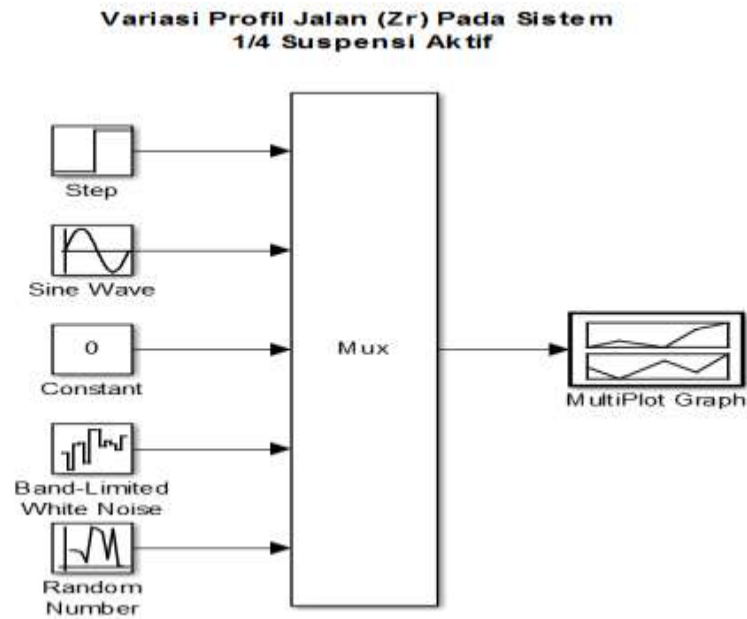
Lampiran 2. Parameter Model dan Gangguan Pada Sistem Suspensi

Model desain suspensi pasif



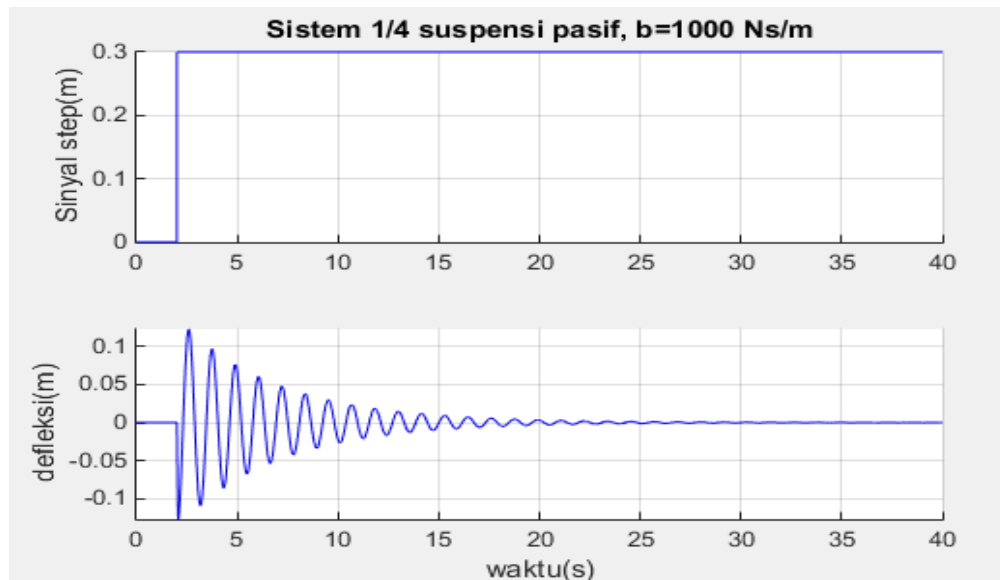
Gambar L.5 Open Loop 1/4 Sistem Suspensi Pasif

Profil jalan yang dapat digunakan dalam sebagai sinyal input dalam pengujian sistem PID controller dan FLC:

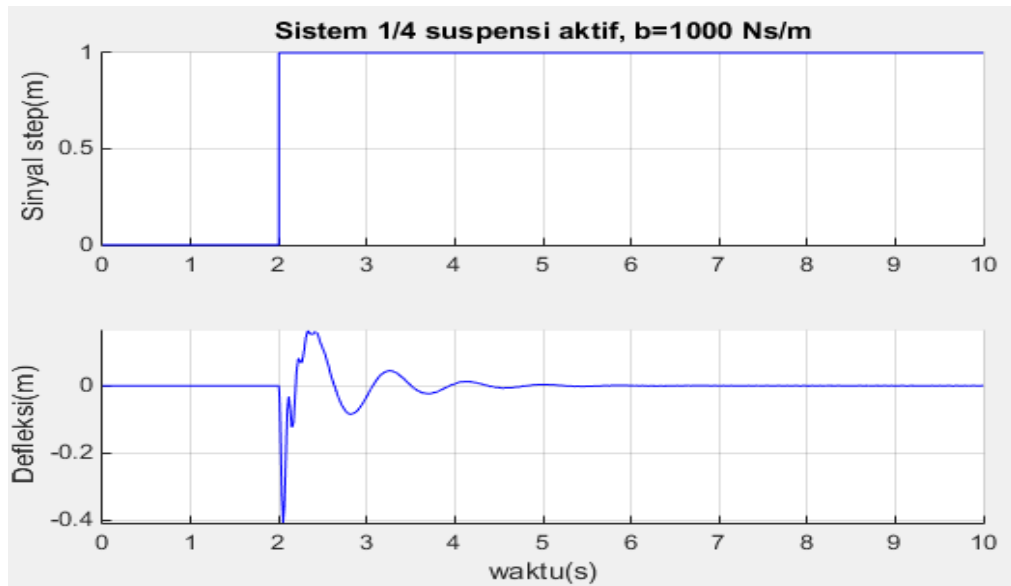


Gambar L.6 Profil Jalan Gangguan Sistem

Perbandingan hasil simulasi sistem $\frac{1}{4}$ suspensi pasif dengan sistem $\frac{1}{4}$ suspensi pasif:

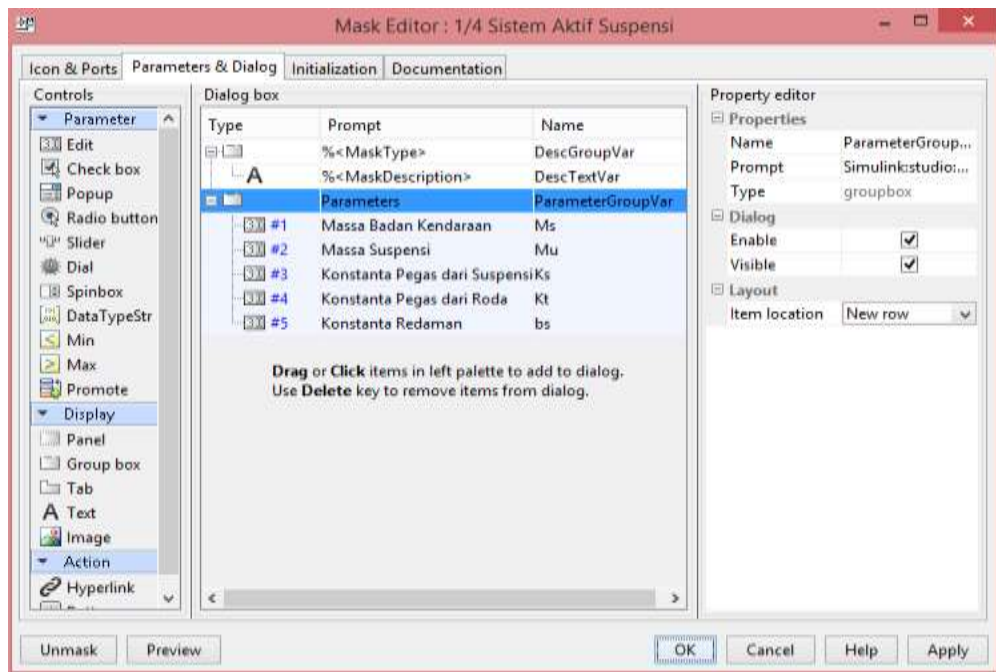


Gambar L.7 Respon *Open Loop* Sistem $\frac{1}{4}$ Suspensi Pasif

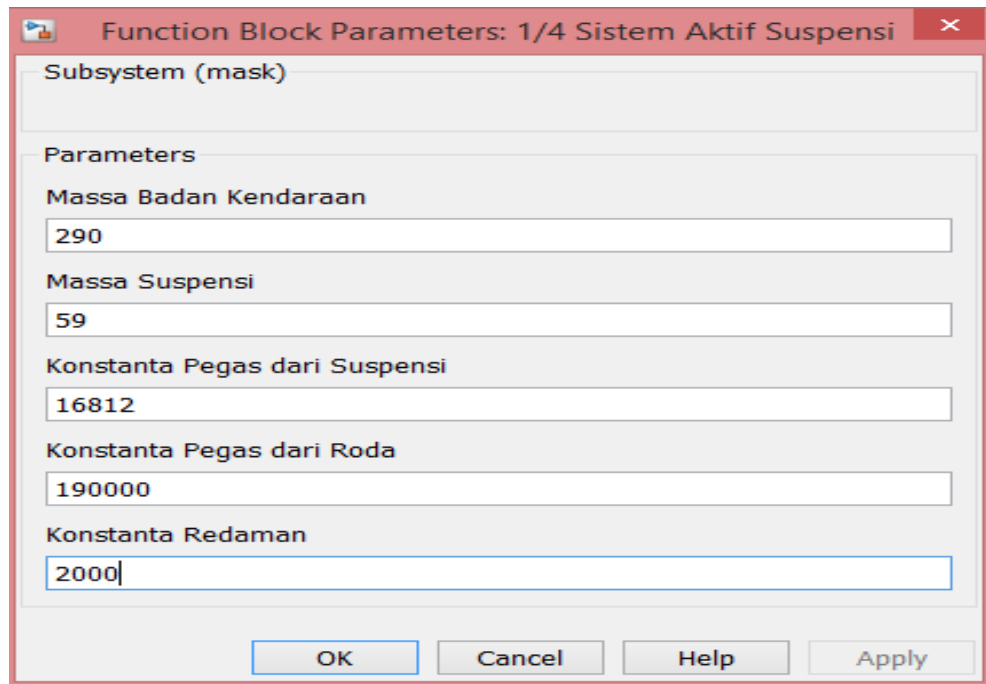


Gambar L.8 Respon *Open Loop* Sistem 1/4 Suspensi aktif

Parameter model dalam Simulink Matlab dan prosesnya:

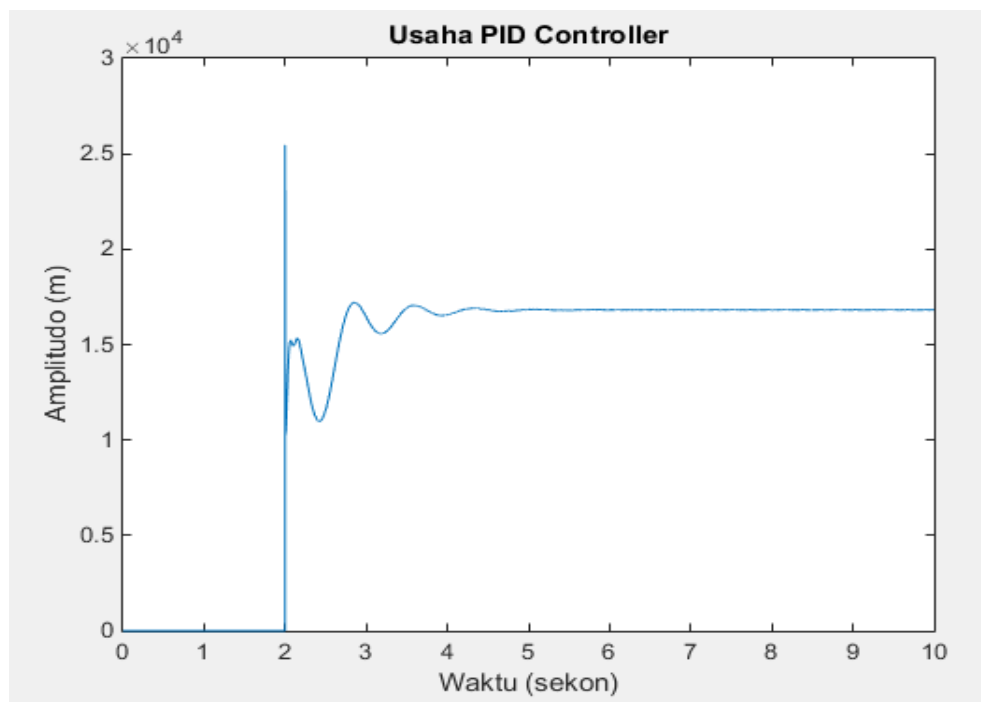


Gambar L.9 Parameter & Dialog Subsystem

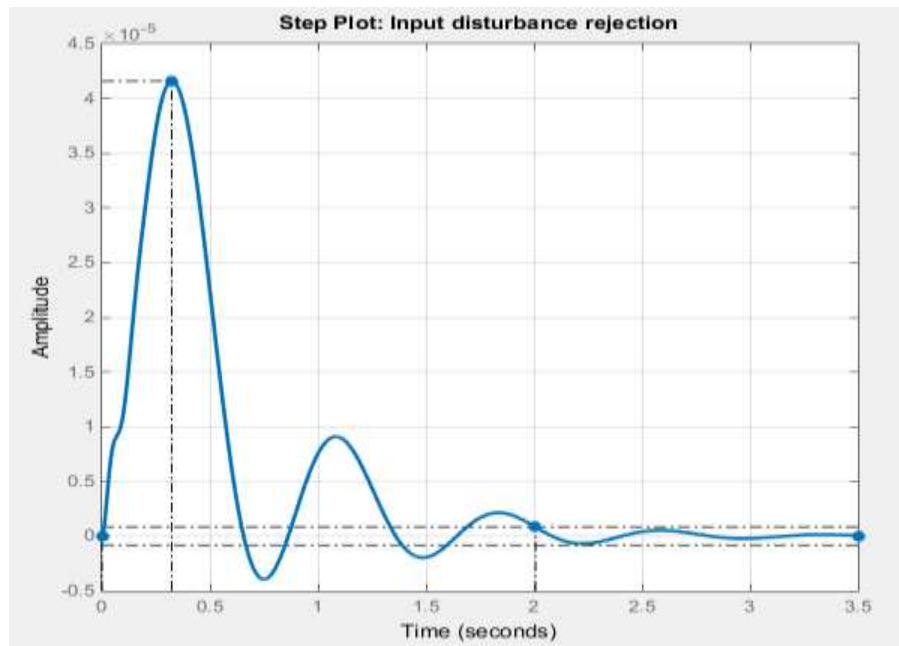


Gambar L.10 Paramater Model Dalam Simulink Matlab

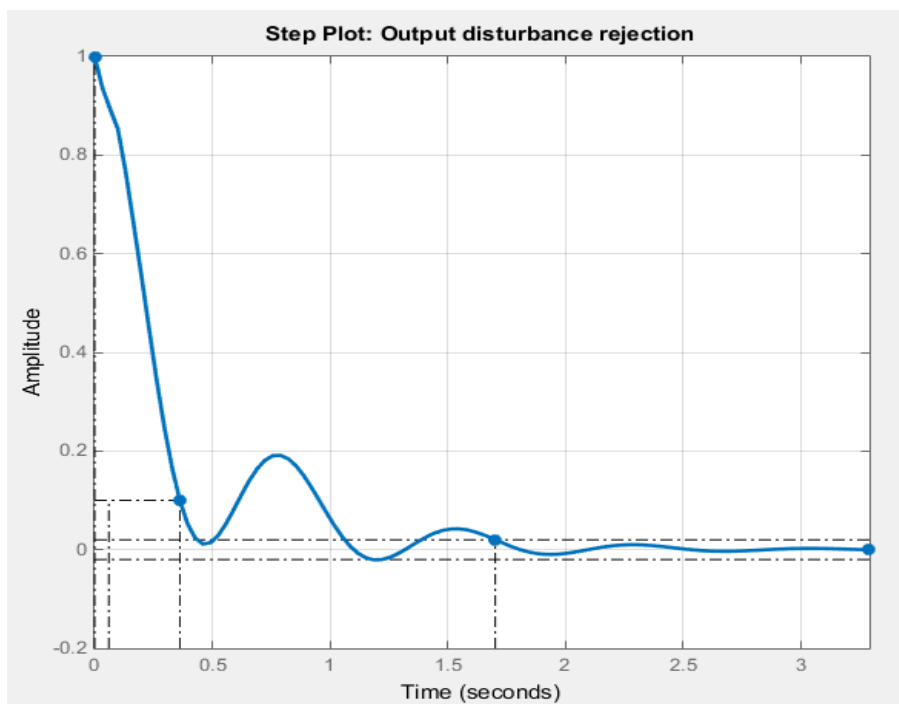
Lampiran 3: Respon Keluaran Kendali PID



Gambar L.11 Usaha Kendali PID Pengujian 6



Gambar L.12 *Input Disturbance Rejection* PID Pengujian 6



Gambar L.13 *Output Disturbance Rejection* PID Pengujian 6

Lampiran 4: Struktur FIS Pada Kendali *Fuzzy*

Struktur FIS (*Fuzzy Inference System*) yang telah dibuat berdasarkan variasi aturan *fuzzy*:

a) 7 Aturan *fuzzy* dalam file *suspensi9.fis*

```
[System]
Name='suspensi9'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=7
AndMethod='prod'
OrMethod='max'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='centroid'
[Input1]
Name='ERROR'
Range=[-1 1]
NumMFs=5
MF1='PM': 'trapmf', [0.2 0.5 1 1]
MF2='ZE': 'trimf', [-0.01 0 0.01]
MF3='NM': 'trapmf', [-1 -1 -0.5 -0.2]
MF4='PS': 'trimf', [0 0.2 0.4]
MF5='NS': 'trimf', [-0.4 -0.2 0]

[Input2]
Name='Derror'
Range=[-0.5 0.5]
NumMFs=2
MF1='NEGATIVE': 'trimf', [-0.5 -0.5 0]
MF2='POSITIVE': 'trimf', [0 0.5 0.5]

[Output1]
Name='gaya'
Range=[-100 100]
NumMFs=5
MF1='NB': 'trimf', [-100 -83.33 -66.65]
MF2='PB': 'trimf', [66.65 83.33 100]
MF3='NS': 'trimf', [-50 -33.33 -16.67]
MF4='ZE': 'trimf', [-0.3333 0 0.3333]
MF5='PS': 'trimf', [16.67 33.33 50]

[Rules]
1 0, 2 (1) : 1
3 0, 1 (1) : 1
2 1, 3 (1) : 1
2 2, 5 (1) : 1
```

```

5 0, 3 (1) : 1
4 0, 5 (1) : 1
2 0, 4 (1) : 1

```

b) 25 aturan *fuzzy* dalam file `suspensi7.fis`

```

[System]
Name='suspensi7'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=25
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
[Input1]
Name='error'
Range=[-1 1]
NumMFs=7
MF1='NB': 'trapmf', [-1 -1 -0.9066 -0.7]
MF2='NM': 'trapmf', [-0.9666 -0.7 -0.6334 -0.3666]
MF3='NS': 'trapmf', [-0.6334 -0.3666 -0.3 -0.0334]
MF4='ZE': 'trapmf', [-0.3 -0.0334 0.0334 0.3]
MF5='PS': 'trapmf', [0.0334 0.3 0.3666 0.6334]
MF6='PM': 'trapmf', [0.3666 0.6334 0.7 0.9666]
MF7='PB': 'trapmf', [0.7 0.9066 1 1]

[Input2]
Name='Derror'
Range=[-4 4]
NumMFs=7
MF1='NB': 'trapmf', [-4 -4 -3.866 -2.8]
MF2='NM': 'trapmf', [-3.866 -2.8 -2.534 -1.466]
MF3='NS': 'trapmf', [-2.534 -1.466 -1.2 -0.1336]
MF4='ZE': 'trapmf', [-1.2 -0.1336 0.1336 1.2]
MF5='PS': 'trapmf', [0.1336 1.2 1.466 2.534]
MF6='PM': 'trapmf', [1.466 2.534 2.8 3.866]
MF7='PB': 'trapmf', [2.8 3.866 4 4]

[Output1]
Name='Gaya'
Range=[-100 100]
NumMFs=7
MF1='NB': 'trapmf', [-100 -100 -93.35 -70]
MF2='NM': 'trapmf', [-96.65 -70 -63.35 -36.68]
MF3='NS': 'trapmf', [-63.35 -36.68 -30 -3.34]
MF4='ZE': 'trapmf', [-30 -3.34 3.34 30]
MF5='PS': 'trapmf', [3.34 30 36.68 63.3]
MF6='PM': 'trapmf', [36.68 63.3 70 96.7]
MF7='PB': 'trapmf', [69.3 93.3 100 100]

```

```
[Rules]
1 3, 1 (1) : 1
1 4, 1 (1) : 1
1 7, 4 (1) : 1
2 2, 1 (1) : 1
2 4, 2 (1) : 1
3 1, 1 (1) : 1
3 3, 2 (1) : 1
3 4, 3 (1) : 1
3 5, 4 (1) : 1
3 6, 5 (1) : 1
4 1, 1 (1) : 1
4 2, 2 (1) : 1
4 4, 4 (1) : 1
4 5, 5 (1) : 1
4 7, 7 (1) : 1
5 1, 2 (1) : 1
5 4, 5 (1) : 1
5 5, 6 (1) : 1
6 2, 4 (1) : 1
6 3, 5 (1) : 1
6 4, 6 (1) : 1
6 7, 7 (1) : 1
7 2, 5 (1) : 1
7 4, 7 (1) : 1
7 6, 7 (1) : 1
```

c) 49 aturan *fuzzy* dalam file suspensi5.fis

```
[System]
Name='suspensi5'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=49
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='error'
Range=[-1 1]
NumMFs=7
MF1='NB': 'trapmf', [-1 -1 -0.9066 -0.7]
MF2='NM': 'trapmf', [-0.9666 -0.7 -0.6334 -0.3666]
MF3='NS': 'trapmf', [-0.6334 -0.3666 -0.3 -0.0334]
MF4='ZE': 'trapmf', [-0.3 -0.0334 0.0334 0.3]
MF5='PS': 'trapmf', [0.0334 0.3 0.3666 0.6334]
MF6='PM': 'trapmf', [0.3666 0.6334 0.7 0.9666]
MF7='PB': 'trapmf', [0.7 0.9066 1 1]
```

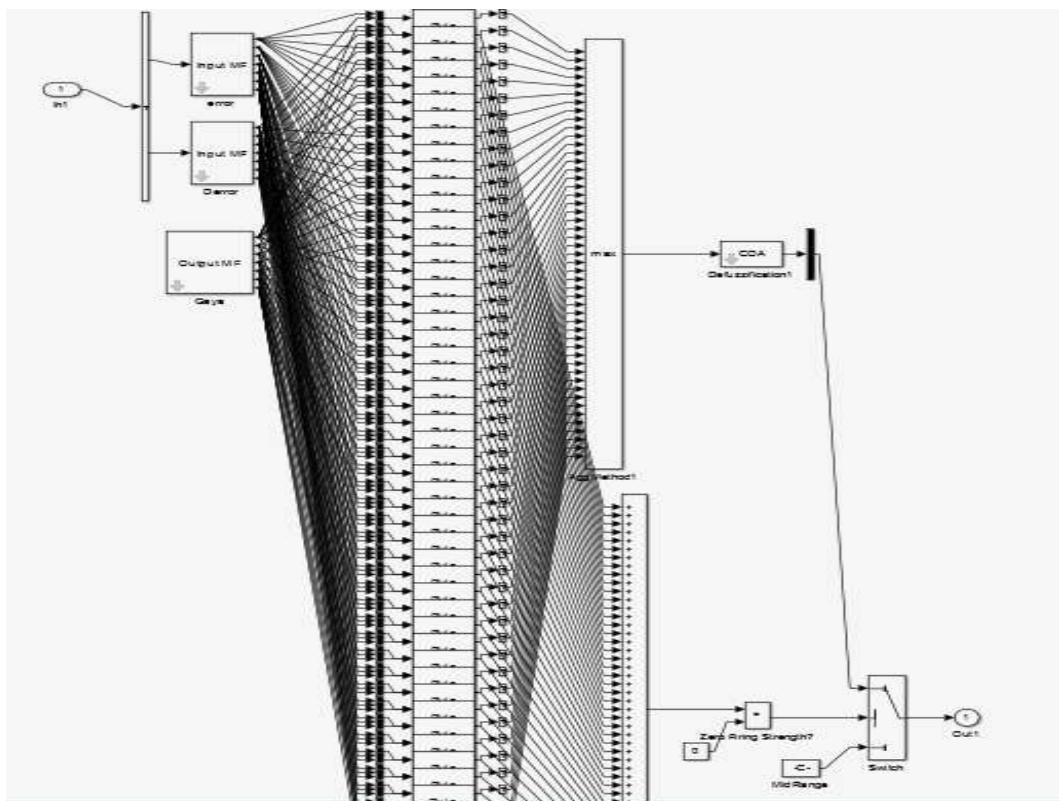
```

[Input2]
Name='Derror'
Range=[-4 4]
NumMFs=7
MF1='NB': 'trapmf', [-4 -4 -3.866 -2.8]
MF2='NM': 'trapmf', [-3.866 -2.8 -2.534 -1.466]
MF3='NS': 'trapmf', [-2.534 -1.466 -1.2 -0.1336]
MF4='ZE': 'trapmf', [-1.2 -0.1336 0.1336 1.2]
MF5='PS': 'trapmf', [0.1336 1.2 1.466 2.534]
MF6='PM': 'trapmf', [1.466 2.534 2.8 3.866]
MF7='PB': 'trapmf', [2.8 3.866 4 4]
[Output1]
Name='Gaya'
Range=[-100 100]
NumMFs=7
MF1='NB': 'trapmf', [-100 -100 -93.35 -70]
MF2='NM': 'trapmf', [-96.65 -70 -63.35 -36.68]
MF3='NS': 'trapmf', [-63.35 -36.68 -30 -3.34]
MF4='ZE': 'trapmf', [-30 -3.34 3.34 30]
MF5='PS': 'trapmf', [3.34 30 36.68 63.3]
MF6='PM': 'trapmf', [36.68 63.3 70 96.7]
MF7='PB': 'trapmf', [69.3 93.3 100 100]
[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 1 (1) : 1
1 3, 1 (1) : 1
1 4, 1 (1) : 1
1 5, 2 (1) : 1
1 6, 3 (1) : 1
1 7, 4 (1) : 1
2 1, 1 (1) : 1
2 2, 1 (1) : 1
2 3, 1 (1) : 1
2 4, 2 (1) : 1
2 5, 3 (1) : 1
2 6, 4 (1) : 1
2 7, 5 (1) : 1
3 1, 1 (1) : 1
3 2, 1 (1) : 1
3 3, 2 (1) : 1
3 4, 3 (1) : 1
3 5, 4 (1) : 1
3 6, 5 (1) : 1
3 7, 6 (1) : 1
4 1, 1 (1) : 1
4 2, 2 (1) : 1
4 3, 3 (1) : 1
4 4, 4 (1) : 1
4 5, 5 (1) : 1
4 6, 6 (1) : 1
4 7, 7 (1) : 1
5 1, 2 (1) : 1
5 2, 3 (1) : 1
5 3, 4 (1) : 1
5 4, 5 (1) : 1
5 5, 6 (1) : 1

```

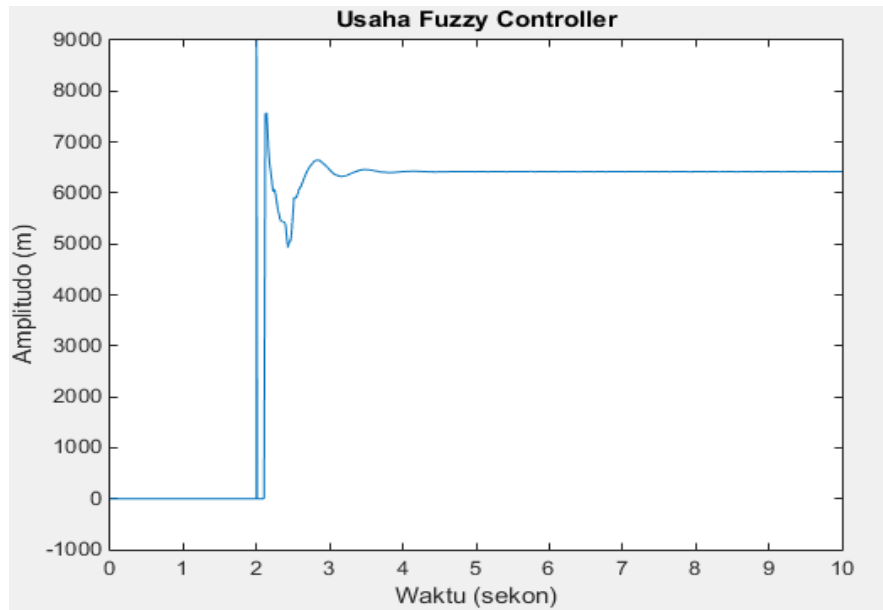
5 6, 7 (1) : 1
 5 7, 7 (1) : 1
 6 1, 3 (1) : 1
 6 2, 4 (1) : 1
 6 3, 5 (1) : 1
 6 4, 6 (1) : 1
 6 5, 7 (1) : 1
 6 6, 7 (1) : 1
 6 7, 7 (1) : 1
 7 1, 4 (1) : 1
 7 2, 5 (1) : 1
 7 3, 6 (1) : 1
 7 4, 7 (1) : 1
 7 5, 7 (1) : 1
 7 6, 7 (1) : 1
 7 7, 7 (1) : 1

Dalam mengetahui proses kendali yang dilakukan pada FLC, ditunjukkan pada Gambar L.10 yang merupakan *fuzzy wizard* dalam *fuzzy logic controller*.

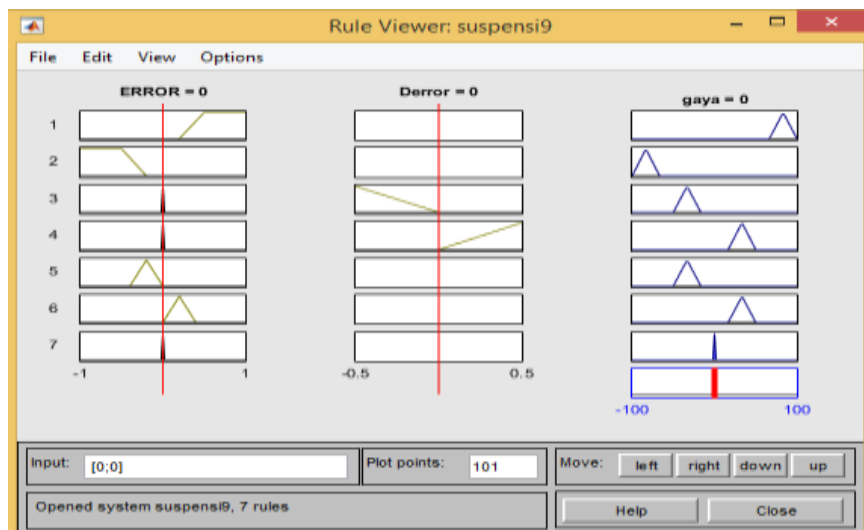


Gambar L.14 FIS Wizard 49 Aturan

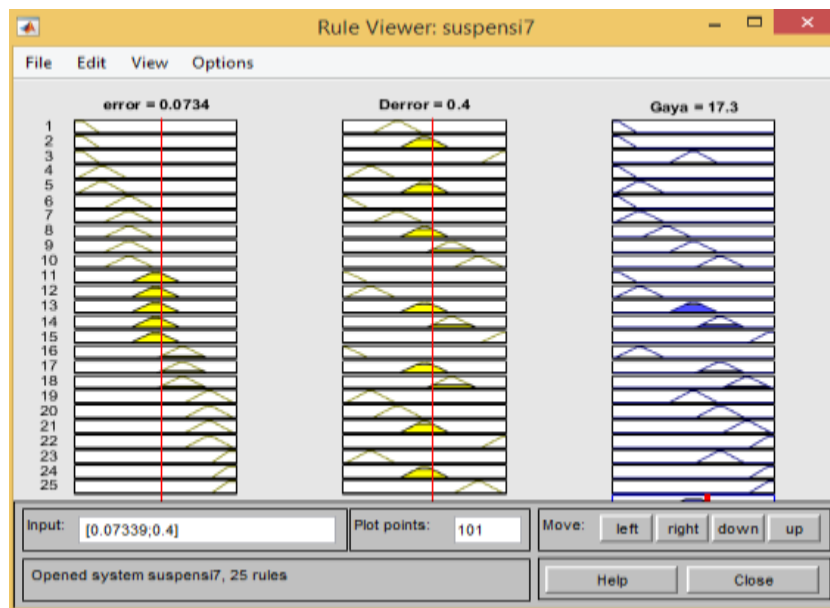
Mendapatkan hasil peformansi sistem yang optimal dibutuhkan usaha controller yang baik pula. Usaha controller fuzzy yang telah berhasil dibangun dengan 49 aturan ditunjukkan pada Gambar L.15. Aturan *fuzzy* dapat dianalisis yang ditunjukkan pada Gambar L.16, Gambar L.17, Gambar L.18.



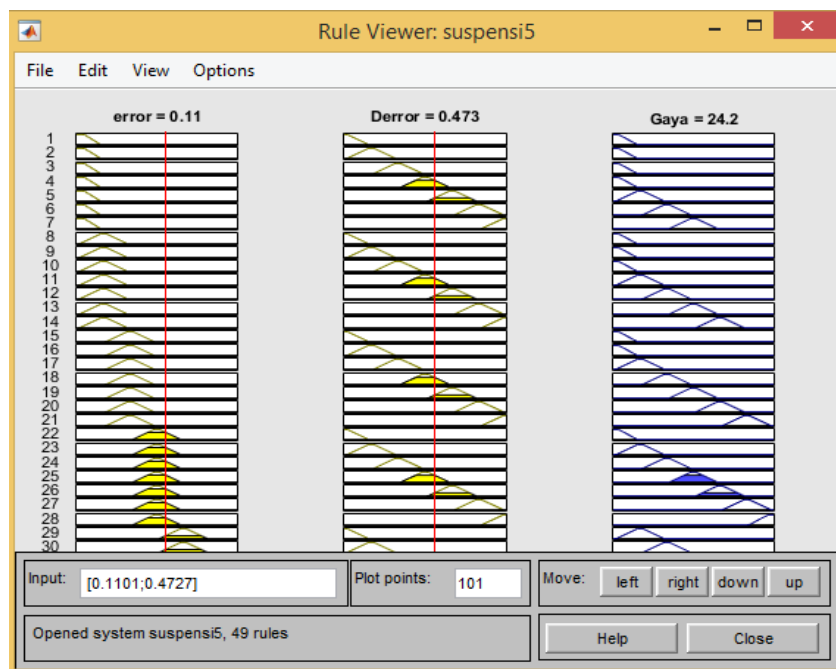
Gambar L.15 Usaha Kendali *Fuzzy* Domain Waktu



Gambar L.16 Rule Viewer 7 Aturan *Fuzzy*



Gambar L.17 Rule Viewer 49 Aturan Fuzzy



Gambar L.18 Rule Viewer 49 Aturan Fuzzy

Lampiran 5. Surat Keputusan Pembimbing Skripsi



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

Nomor: *862/P/2014*

**Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2014/2015**

- Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
- Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Tanggal 21 November 2014

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

PERTAMA :

Menunjuk dan menugaskan kepada:

1. Nama : Sunamo, S.Si M.Si
NIP : 197201121999031003
Pangkat/Golongan : III/C
Jabatan Akademik : Lektor
Sebagai Pembimbing I
2. Nama : Drs. SUKISWO SUPENI EDIE, M.Si.
NIP : 195610291986011001
Pangkat/Golongan : III/C
Jabatan Akademik : Lektor
Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

Nama : ROHMAD
NIM : 4211411039
Jurusan/Prodi : Fisika/Fisika
Topik : Design and Analysis Suspension system control using PID and Fuzzy logic with simulink Matlab

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

DITETAPKAN DI : SEMARANG

TANGGAL : 24 November 2014

4211411039
...: FM-03-AKD-24/Rev. 00 :...



Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 195310121988031001

Lampiran 6. Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
Gedung D7 Lt 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
Telepon: 0248508034
Laman: surel

No. : 4666/UN37.14/5/2015
Lamp. :
Hal : Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana

Dengan ini kami tetapkan bahwa ujian Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk jurusan Fisika adalah sebagai berikut:

I. Susunan Panitia Ujian:

- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| a. Ketua | : Prof. Dr. Wiyanto, M.Si. |
| b. Sekretaris | : Dr. Khumaedi, M.Si. |
| c. Pembimbing Utama | : Sunarno, S.Si M.Si |
| d. Pembimbing Pendamping | : Drs. SUKISWO SUPENI EDIE, M.Si. |
| e. Penguji | : Isa Akhlis, S.Si., M.Si. |

II. Calon yang diuji:

Nama	: ROHMAD
NIM/Jurusan/Program Studi	: 4211411039/Fisika /Fisika, S1
Judul Skripsi	: Design and Analysis Suspension System Control Using PID and Fuzzy Logic with simulink Matlab

II. Waktu dan Tempat Ujian:

Hari/Tanggal	: Kamis / 30 April 2015
Jam	: 08.00.00
Tempat	: D 7 L. 3
Pakaian	:

Tembusan
1. Ketua Jurusan Fisika
2. Calon yang diuji



Dr. Wiyanto, M.Si.
196310121988031001

4211411039