



LAPORAN PENELITIAN

**PERANCANGAN SISTEM KONTROL SUSPENSI SEMI-AKTIF
MENGUNAKAN "FUZZY LOGIC CONTROL"
PADA MODEL KENDARAAN SETENGAH**

Oleh :

- 1. Sumardi, S.T. , M.T.**
- 2. Wahyudi, S.T. , M.T.**
- 3. Achmad Hidayatno, S.T., M.T.**

DIBIYAI OLEH PROYEK PENINGKATAN PENELITIAN PENDIDIKAN TINGGI (P4T)
DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL,
SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN DOSEN MUDA
NOMOR: 103/P4T/DPPM/DM,SKW,SOSAG/III/2004 TANGGAL 25 MARET 2004

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
NOPEMBER, 2004**

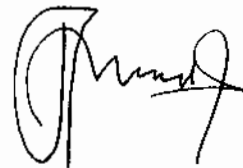
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : **Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Semi-aktif Menggunakan Fuzzy Logic Control pada Model Kendaraan Setengah**
b. Kategori Penelitian : I

2. Ketua Peneliti
a. Nama Lengkap dan Gelar : Sumardi, ST MT
b. Jenis Kelamin : Laki-laki
c. Golongan Pangkat dan NIP : III B, NIP. 132 125 670
d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
e. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
f. Universitas : Diponegoro, Semarang.
g. Bidang Ilmu yang diteliti : Teknik Kendali
3. Jumlah Tim Peneliti : 3 orang
a. Nama Anggota Peneliti : Wahyudi, ST MT
b. Nama Anggota Peneliti : Achmad Hidayatno, ST MT
4. Teknisi/Programer : Didik Hartono
5. Lokasi Penelitian : Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip
6. Kerjasama dengan Instansi lain
a. Nama Instansi : -
b. Alamat : -
7. Jangka Waktu Penelitian : 8 (delapan) bulan
8. Biaya yang diperlukan : Rp. 6.000.000,00
(Enam juta rupiah)

Semarang, Nopember 2004

Ketua Peneliti,



Sumardi, S.T., M.T.
NIP. 132 125 670

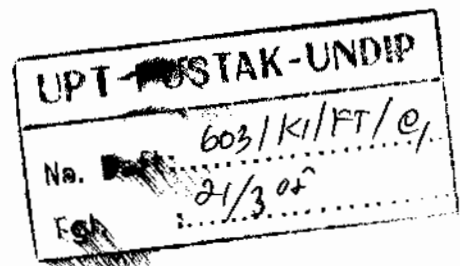
Mengetahui,
Dekan
Fakultas Teknik UNDIP

Eko Wahyuni, MS
NIP. 130 808 929



Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian

Riwanto, Sp. Bd
No. 130 529 454



PERANCANGAN SISTEM KONTROL SUSPENSI SEMI-AKTIF MENGUNAKAN “FUZZY LOGIC CONTROL” PADA MODEL KENDARAAN SETENGAH

Oleh: Sumardi, Wahyudi, Achmad Hidayatno
Teknik Elektro
Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Tahun 2003/2004, 50 halaman

Sistem suspensi yang baik harus dapat meningkatkan kenyamanan penumpang. Dalam usaha meningkatkan kenyamanan penumpang, sistem suspensi harus dapat meminimalkan percepatan vertikal badan kendaraan sehubungan dengan permukaan jalan yang tak menentu.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem suspensi semi-aktif dengan menggunakan sistem kontrol fuzzy yang didasarkan pada model kendaraan setengah dengan peredam yang nonlinier. Tidak seperti model kendaraan seperempat, pada model kendaraan setengah diperhitungkan tentang pitch angle badan kendaraan. Peredam yang digunakan dalam sistem suspensi semi-aktif ini adalah peredam nonlinier dengan pertimbangan bahwa pada kenyataannya peredam mempunyai karakteristik yang nonlinier, baik pada saat dirancang maupun akibat lamanya pemakaian. Hasil perancangan diuji dengan beberapa model gangguan yang diwakili oleh model sinyal sinus, model sinyal random dan sebuah model yang menggambarkan gundukan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang telah dirancang dapat memberikan nilai puncak percepatan badan kendaraan yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem suspensi pasif dan suspensi semi-aktif loop tertutup tanpa pengontrol, yang berarti bahwa sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang telah dirancang memberikan tingkat kenyamanan yang lebih baik. Dengan gangguan model 1 (gundukan), nilai puncak percepatan badan kendaraan pada suspensi pasif adalah sebesar $5,8152 \text{ m/s}^2$, pada suspensi semi-aktif loop tertutup tanpa pengontrol dihasilkan nilai puncak sebesar $5,8111 \text{ m/s}^2$, sedangkan pada suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy turun menjadi $3,9474 \text{ m/s}^2$. Dengan gangguan model 2 (sinyal sinus) pada kecepatan sudut 5 rad/s sampai dengan 25 rad/s , sistem suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy yang dirancang dapat menghasilkan percepatan badan kendaraan yang lebih rendah dibandingkan dengan suspensi pasif dan suspensi semi-aktif loop tertutup tanpa pengontrol.

Kata kunci: Suspensi, Semi-aktif, Kendaraan setengah, Kontrol fuzzy.

CONTROL SYSTEM DESIGN OF SEMI-ACTIVE SUSPENSION USING FUZZY LOGIC CONTROL ON A HALF CAR MODEL

**By: Sumardi, Wahyudi, Achmad Hidayatno
Electrical Engineering Department
Faculty of Engineering, Diponegoro University
Year 2003/2004, 50 pages**

A good suspension system should improve the passenger comfort. To improve the passenger comfort, it should minimize the vertical body acceleration due to irregularities of the road surface.

A design of semi-active suspension system having nonlinear damper component based on the half-car model using fuzzy control is conducted in this final project. Unlike in quarter-car model, pitch angle of the body is considered in half-car model. The nonlinear damper is considered because in general, it has nonlinear characteristics, due to its design condition or the effect of operation time. The results of the design is evaluated using some road disturbance models, which can be represented by sinusoidal signal model, random signal model and a model that simulate road bump, .

The results of simulation showed that the designed semi-active suspension system with fuzzy controller, give lower peak value of the vertical body acceleration then passive suspension system and semi-active close loop suspension system without controller, which mean the suspension system give better performance in ride comfort then the other ones. With road disturbance model 1 (road bump), the peak value of the vertical body acceleration using passive suspension system is 5.8152 m/s^2 , the peak value using semi-active close loop suspension system without controller is $5,811 \text{ m/s}^2$, whereas using semi-active suspension system with fuzzy controller, the peak value of the vertical body acceleration can be decreased to $3,9474 \text{ m/s}^2$. Using road disturbance model 2 (sinusoidal signal) with angle acceleration (frequency) 5 rad/s to 25 rad/s , the designed semi-active suspension system with fuzzy controller give lower value of the vertical body acceleration then passive suspension system and semi-active close loop suspension system without controller.

Key word: Suspension, Semi-active, Half-car, Fuzzy Control.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami nianatkan kehadiran Allah SWT karena petunjuk dan kehendakNya lah peneliti dapat menyelesaikan penelitian dengan judul Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Semi-aktif Menggunakan Pengontrol Fuzzy Pada Model Kendaraan Setengah ini dengan baik.

Dalam kesempatan ini peneliti menghaturkan banvak terima kasih kepada:

1. Pemberi dana penelitian dalam hal ini Provek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi (P4T) Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.
2. Lembaga Penelitian Undip Yang memberrika kesempatan kepada Peneliti untuk melaksanakan penelitian ini.
3. Dekan Fakultas teknik dan Ketua jurusan Teknik Elektro yang mana telah memberikan fasilitas untuk terlaksananya penelitian ini.
4. Para Ketua Laboratorium di lingkunga Teknik Elektro Undip.
5. Semua pihak yang tidak bisa peneliti sebutkan satu persatu.

Akhirnya peneliti berharap semoga hasil penelitian ini dapat berguna bagi para pembaca, dan kalau ada kesalahan yang dilakukan peneliti baik disengaja maupun tidak mohon dima'afkan.

Semarang, Nopember 2004
Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman iudul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Ringkasan.....	iii
Resume.....	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi.....	vi
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pembatasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Sistem Kontrol Fuzzv.....	3
2.1.1 Matematika Sistem Fuzzv.....	3
2.1.1.1 Himpunan Fuzzv.....	3
2.1.1.2 Fungsi Keanggotaan.....	4
2.1.1.3 Operasi Himpunan Fuzzy.....	6
2.1.1.4 Implikasi Fuzzy.....	9
2.1.1.5 Logika Fuzzy.....	11
2.1.2 Sistem Fuzzy.....	12
2.1.2.1 Basis Kaidah Atur Fuzzy.....	12
2.1.2.2 Pengambilan Keputusan.....	13
2.1.2.3 Fuzzifikasi.....	14
2.1.2.4 Defuzzifikasi.....	14
2.2 Sistem Suspensi.....	15
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	19
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	20
4.1 Pemodelan Sistem Suspensi.....	20
4.1.1 Pemodelan Sistem Suspensi Pasif.....	20
4.1.2 Pemodelan Sistem Suspensi Semi-aktif.....	27
4.2 Perancangan Sistem Kontrol.....	31
4.2.1 Penyusunan Fungsi Keanggotaan.....	32

4.2.2	Penyusunan Basis Kaidah Atur	34
4.2.3	Proses Defuzifikasi	36
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
5.1	Unjuk Kerja Sistem dengan Gangguan Model 1.....	39
5.2	Unjuk Kerja Sistem dengan Gangguan Model 2.....	43
5.2.1	Unjuk Kerja Sistem dengan Gangguan Model 2 Kecepatan Sudut 2 rad/s.....	43
5.2.2	Unjuk Kerja Sistem dengan Gangguan Model 2 Kecepatan Sudut 5 rad/s.....	44
5.3	Unjuk Kerja Sistem dengan Gangguan Model 3.....	46
BAB VI	PENUTUP	49
6.1	Kesimpulan	49
6.2	Saran-saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaannya.....	4
Gambar 2.2	Fungsi keanggotaan segitiga.....	5
Gambar 2.3	Fungsi keanggotaan Gaussian	5
Gambar 2.4	Fungsi keanggotaan trapezoidal	6
Gambar 2.5	Konfigurasi sistem fuzzy	12
Gambar 2.6	Penggambaran <i>center average defuzzifier</i>	15
Gambar 2.7	Karakteristik pegas dengan $k=17500$ N/m	17
Gambar 2.8	Karakteristik pegas dengan $k=19960$ N/m	17
Gambar 2.9	Karakteristik peredam.....	18
Gambar 4.1	Sistem suspensi pasif model kendaraan setengah.....	20
Gambar 4.2	Sistem suspensi semi-aktif model kendaraan setengah.....	28
Gambar 4.3	Pengaturan suspensi dengan kontrol fuzzy.....	31
Gambar 4.4	Sistem fuzzy untuk kontrol suspensi model kendaraan setengah.....	32
Gambar 4.5	Fungsi keanggotaan dan jangkauan dari <i>error</i> defleksi suspensi depan dan belakang	33
Gambar 4.6	Fungsi keanggotaan dan jangkauan dari <i>perubahan error</i> defleksi suspensi depan dan belakang.....	33
Gambar 4.7	Fungsi keanggotaan dan jangkauan dari <i>error</i> percepatan badan kendaraan	33
Gambar 4.8	Fungsi keanggotaan dan jangkauan dari <i>perubahan error</i> percepatan badan kendaraan	34
Gambar 4.9	Fungsi keanggotaan dan jangkauan untuk keluaran kontrol	34
Gambar 5.1	Blok diagram pengaturan suspensi semi-aktif loop tertutup tanpa pengontrol	38
Gambar 5.2	Blok diagram pengaturan suspensi semi-aktif dengan pengontrol fuzzy	38
Gambar 5.3	Gangguan model 1	39
Gambar 5.4	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi dengan gangguan model 1	40
Gambar 5.5	Nilai puncak dari percepatan badan kendaraan sistem suspensi pasif dan sistem loop tertutup tanpa pengontrol dengan gangguan model 1	40

Gambar 5.6	Defleksi suspensi depan dengan gangguan model 1	41
Gambar 5.7	Defleksi suspensi belakang dengan gangguan model 1.....	41
Gambar 5.8	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi diberi gangguan model 2 dengan kecepatan sudut 2 rad/s	43
Gambar 5.9	Defleksi suspensi diberi gangguan model 2 dengan kecepatan sudut 2 rad/s.....	43
Gambar 5.10	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi diberi gangguan model 2 dengan kecepatan sudut 5 rad/s	45
Gambar 5.11	Defleksi suspensi diberi gangguan model 2 dengan kecepatan sudut 5 rad/s.....	45
Gambar 5.12	Gangguan model 3 dengan amplituda 0,06 meter	46
Gambar 5.13	Grafik percepatan badan kendaraan dengan gangguan model 3	47
Gambar 5.14	Defleksi suspensi depan dengan gangguan model 3	47
Gambar 5.15	Defleksi suspensi belakang dengan gangguan model 3.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel kebenaran untuk $p \rightarrow a$	10
Tabel 4.1	Parameter Suspensi	26
Tabel 4.2	<i>Rule base</i> pengaturan suspensi semi-aktif.....	36
Tabel 5.1	Hasil Variasi Massa Kendaraan	42
Tabel 5.2	Percepatan Badan Kendaraan dengan Gangguan Model 2 Kecepatan Sudut 2 rad/s.....	44
Tabel 5.3	Defleksi Suspensi dengan Gangguan Model 2 Kecepatan Sudut 2 rad/s	44
Tabel 5.4	Percepatan Badan Kendaraan dengan Gangguan Model 2 Kecepatan Sudut 5 rad/s.....	45
Tabel 5.5	Defleksi Suspensi dengan Gangguan Model 2 Kecepatan Sudut 5 rad/s	46
Tabel 5.6	Defleksi Suspensi dengan Gangguan Model 3	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenyamanan dalam berkendara sudah menjadi tuntutan bagi para pengendaranya. Sistem suspensi pada kendaraan memegang peranan yang sangat penting dalam memperoleh kenyamanan. Umumnya suspensi kendaraan terdiri dari komponen pasif, yaitu komponen pegas dan komponen peredam. Sistem dengan komponen pasif akan mempunyai karakteristik yang tetap untuk berbagai permukaan jalan. Penggunaan komponen aktif dapat merubah karakteristik sistem sesuai dengan permukaan jalan, adanya perubahan massa kendaraan akibat perubahan penumpang maupun bahan bakar. Ada dua jenis sistem yang menggunakan komponen aktif, yaitu sistem suspensi aktif dan sistem suspensi semi-aktif. Pada sistem suspensi aktif tidak digunakan komponen pasif sedangkan pada sistem suspensi semi-aktif digunakan komponen pasif selain komponen aktif^[10].

Banyak penelitian telah dilakukan tentang suspensi, baik sistem suspensi aktif maupun sistem suspensi semi-aktif. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan berbagai metoda kontrol untuk mendapatkan peredaman yang tinggi akibat adanya gangguan ketidakrataan jalan dengan didasarkan pada model kendaraan seperempat, model kendaraan setengah maupun model kendaraan penuh^{[5][6][10]}.

Salah satu metoda kontrol yang digunakan untuk mengatur sistem suspensi adalah sistem kontrol fuzzy. Prinsip dasar sebuah sistem kontrol fuzzy sebenarnya sangat sederhana yaitu didasarkan pada suatu model logika yang merepresentasikan proses berfikir seorang operator ketika sedang mengontrol suatu sistem. Sistem kontrol fuzzy telah dicoba untuk mengatur sistem suspensi dengan model kendaraan seperempat dan model kendaraan setengah^{[6][10]}. Penelitian pengaturan sistem suspensi dengan sistem kontrol fuzzy pada model kendaraan seperempat telah dilakukan oleh Sumardi (1998) dengan sistem suspensi yang linier dan nonlinier, akan tetapi pada model kendaraan setengah belum dilakukan penelitian dengan model suspensi yang nonlinier.

Pada penelitian ini dilakukakan perancangan sistem suspensi semi-aktif yang didasarkan pada model kendaraan setengah dengan peredam yang nonlinier. Tidak seperti model kendaraan seperempat, pada model kendaraan setengah diperhitungkan tentang *pitch angle* badan kendaraan. Peredam yang digunakan dalam sistem suspensi semi-aktif ini adalah peredam nonlinier dengan pertimbangan bahwa pada kenyataannya

peredam mempunyai karakteristik yang nonlinier, baik pada saat dirancang maupun akibat lamanya pemakaian. Hasil perancangan diuji dengan beberapa model gangguan yang menggambarkan kondisi permukaan jalan gundukan (*road bump*), jalan bergelombang dan jalan tidak rata.

1.2 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini diberikan pembatasan-pembatasan sebagai berikut :

1. Komponen suspensi yang taklinier adalah peredam dengan mengabaikan gaya geseknya, sedang komponen yang lain linier.
2. Sistem fuzzy yang digunakan adalah sistem fuzzy dengan *product inference engine*, *singleton fuzzifier* dan *center average defuzzifier*.
3. Gangguan yang diberikan adalah 3 model gangguan yang mewakili kondisi jalan yang berupa gundukan (*road bump*), jalan bergelombang dan jalan tidak rata.