

629.8

Sum

P e.1



**LAPORAN PENELITIAN**

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

Oleh :

1. Sumardi, S.T. , M.T.
2. Wahyudi, S.T. , M.T.
3. Imam Santoso, S.T.

---

DIBIYAI OLEH PROYEK PENGKAJIAN DAN PENELITIAN ILMU PENGETAHUAN TERAPAN  
DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN DOSEN MUDA  
NOMOR : 015/P2IPT/DM/VI/1999

DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG  
JANUARI , 2000**

## LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : **Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Semi-aktif Menggunakan Fuzzy Logic Control pada Model Kendaraan Seperempat**  
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 A, NIP. 132 125 670
  - d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli Madya
  - e. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
  - f. Universitas : Diponegoro, Semarang.
  - g. Bidang Ilmu yang diteliti : Teknik Kendali
3. Jumlah Tim Peneliti : 3 orang
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip
5. Kerjasama dengan Instansi lain
  - a. Nama Instansi : -
  - b. Alamat : -
6. Jangka Waktu Penelitian : 9 (sembilan) bulan
7. Biaya yang diperlukan : Rp. 5.000.000,00  
( Lima juta rupiah )

Semarang, Januari 2000

Mengetahui

Dekan  
Fakultas Teknik UNDIP

Ir. Bambang Setioko, M.Eng.  
NIP. 130 316 595

Ketua Peneliti,



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

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian



Prof. DR. dr. Satoto  
NIP. 130 368 071

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

**Oleh : Sumardi, Wahyudi, Imam Santoso  
Teknik Elektro  
Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Tahun 1999/2000, 60 halaman**

Umumnya suspensi kendaraan terdiri dari komponen *pasif*, yaitu komponen pegas dan komponen peredam. Sistem ini sangat dikenal dan cukup efektif untuk meredam getaran dari permukaan jalan. Namun demikian masih terdapat beberapa kendala, antara lain sistem tidak dapat menyesuaikan dengan keadaan jalan yang tidak rata. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan sistem peredam getaran dengan menggunakan komponen *aktif*. Ada dua jenis sistem yang menggunakan komponen *aktif*, yaitu sistem suspensi *aktif* dan sistem suspensi *semi-aktif*.

Keuntungan menggunakan sistem suspensi *aktif* adalah getaran yang timbul pada badan kendaraan akibat permukaan jalan yang bergelombang atau tidak rata dapat dikurangi dan peredam getaran dapat menyesuaikan dengan kondisi jalan. Kekurangannya adalah sistem suspensi tidak dapat berfungsi apabila sistem pengontrol mengalami kerusakan.

Jenis yang kedua adalah sistem suspensi *semi-aktif*. Keuntungan sistem ini adalah masih dapat berfungsi pada waktu sistem pengontrol mengalami kegagalan.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem suspensi semi-aktif dengan peredam nonlinier menggunakan Pengontrol Logika Fuzzy. Kontrol Logika Fuzzy mempunyai beberapa keunggulan khususnya pada sistem nonlinier. Peredam nonlinier digunakan dengan pertimbangan bahwa pada kenyataannya peredam mempunyai karakteristik yang nonlinier, baik pada saat dirancang maupun akibat lamanya pemakaian.

Pengontrol Fuzzy yang dirancang adalah pengontrol Fuzzy dengan dua masukan satu keluaran, dua masukan masing masing sinyal error dan perubahan sinyal error sedang keluarannya menjadi sinyal masukan sistem. Masukan dan keluaran dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan yang sama yang menghasilkan sembilan aturan kontrol.

Hasil perancangan dianalisa dengan berbagai kondisi permukaan jalan. Untuk kepentingan simulasi kondisi permukaan jalan diwakili oleh sinyal impuls, sinyal sinusoida dan sinyal random. Model kendaraan yang digunakan adalah model kendaraan seperempat.

Hasil simulasi dengan kondisi permukaan jalan berupa impuls menunjukkan bahwa harga puncak yang dirasakan badan kendaraan dapat diperkecil dari 0,0107 meter pada suspensi pasif menjadi 0,0075 meter pada suspensi semi-aktif. Sementara itu waktu mantap juga mengalami perbaikan dari 3,0631 detik pada suspensi pasif menjadi 0,2890 detik pada suspensi semi-aktif yang dirancang.

Demikian juga pada perubahan ketidaklinieran dari peredam yang digunakan, sistem suspensi semi-aktif yang dirancang memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan sistem suspensi pasif.

Hasil simulasi dengan beberapa parameter yang berbeda dapat diketahui harga puncak terendah diberikan pada harga parameter badan kendaraan dua kali harga parameter nominal.

Pada kondisi permukaan jalan yang berbentuk random sistem suspensi semi-aktif yang dirancang juga menunjukan hasil yang lebih baik bila dibandingkan pada sistem suspensi pasif.

Selanjutnya, pada kondisi permukaan jalan berbentuk sinusoida sistem suspensi semi-aktif yang dirancang mampu memberikan penurunan percepatan vertikal pada frekuensi di bawah 12,6 rad/det, sehingga faktor kenyamanannya dapat ditingkatkan. Defleksi yang terjadi pada ban dan pada per secara umum juga dapat diperkecil pada semua daerah frekuensi sehingga faktor keamanannya dapat lebih baik.

Kata kunci: Suspensi, Fuzzy Logic Control, Semi-aktif, Kendaraan seperempat.

# **CONTROL SYSTEM DESIGN OF SEMI-ACTIVE SUSPENSION USING FUZZY LOGIC CONTROL ON A QUARTER CAR MODEL**

**By : Sumardi, Wahyudi, Imam Santoso  
Electrical Engineering Departement  
Faculty of Engineering, Diponegoro University  
Year 1999/2000: 60 pages**

Commonly the suspension system in vehicle contains two passive components damper and pegas. This system can damp the vibration of road surface, but it still cannot adapt with road surface condition. The active component is then use to realize the damping system. There are two types of the system use the active components, active suspension system and semi-active suspension system.

In active suspension system the advantage is the vibration in vehicle body caused by the condition of the road surface can be decreased or damped adaptively, but this system has disadvantage, if the control system cannot work, the suspension system cannot work too.

The second type, semi-active suspension system has advantage the control system is independent with suspension system.

In this research we design semi-active suspension system with non-linear damping use Fuzzy Logic Control. Fuzzy Logic Control has good response in non-linear systems and the reason using non-linear damping is the fact that damper has non-linear characteristic.

Fuzzy control designed has two inputs for error signal and error signal difference and one output for input signal to systems. Inputs and output divide into three identical membership functions which product nine control rules.

The design has been analyzed for varying road surface condition. For simulation road surface conditions are represented by impuls, sinusoid and random signal. Vehicle model use 1/4-vehicle model.

Simulation show that peak value occur the vehicle body can be reduced from 0,0107 meter for passive suspension to 0,0075 meter for semi-active suspension. Settling time also reduced from 3,0631 seconds for passive suspension system to 0,2890 second for semi-active suspension. Semi-active suspension gives more good performance.

For random simulation semi-active suspension gives better response than passive suspension system.

In sinusoid road surface simulation semi-active suspension system can decrease vertical velocity at frequency under 12,6 rad/s, this also could increase comfortable factor. Wheel and spring deflection can be minimized in all frequency range therefor give better comfortable factor.

Key words : Suspension, Fuzzy Logic Control, Semi-active, A Quarter Car.

## PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadirat 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 Seperempat ini dengan baik.

Dalam kesempatan ini peneliti menghaturkan banyak terima kasih kepada:

1. Pemberi dana penelitian dalam hal ini Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.
2. Lembaga Penelitian Undip Yang memberrikan 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 lingkungan 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, Januari 2000

Peneliti

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>RINGKASAN DAN SUMMARY .....</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
<b>III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
<b>IV. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>47</b>
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>59</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>62</b>



## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Kriteria Intuitif untuk GMP .....	9
Tabel 2.2	Kriteria Intuitif untuk GMT .....	10
Tabel 2.3	Contoh Proses Diskritisasi .....	14
Tabel 2.4	Kaidah Atur Kontrol Logika Fuzzy .....	21
Tabel 4.1	Harga Parameter Nominal .....	29
Tabel 4.2	Harga Puncak dan Waktu Mantap untuk Berbagai Parameter .....	33
Tabel 4.3	Matriks Aturan Kontrol .....	44
Tabel 5.1	Perbandingan Harga Puncak dan Waktu Mantap .....	53

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaannya .....	5
Gambar,2.2	Fungsi - S .....	6
Gambar 2.3	Fungsi - $\pi$ .....	7
Gambar 2.4	Fungsi - T (segitiga) .....	7
Gambar 2.5	Konfigurasi dasar Kontrol Logika Fuzzy .....	10
Gambar 2.6	Hubungan antara variabel, label dan tingkat keanggotaan dalam himpunan fuzzy .....	12
Gambar 2.7	Sistem kontrol lup tertutup dengan Kontrol Logika Fuzzy .....	19
Gambar 2.8	Sistem dengan respons step .....	20
Gambar 2.9	Sistem suspensi pasif .....	22
Gambar 2.10	Karakteristik pegas .....	23
Gambar 2.11	Karakteristik peredam .....	24
Gambar 4.1	Defleksi pada badan kendaraan ( $Z_s$ ) untuk harga parameter nominal .....	29
Gambar 4.2	Defleksi pada badan kendaraan ( $Z_s$ ) untuk berbagai harga koefisien peredam ( $b_s$ ) .....	30
Gambar 4.3	Defleksi pada badan kendaraan ( $Z_s$ ) untuk berbagai harga koefisien kekakuan pegas ( $k_s$ ) .....	30
Gambar 4.4	Defleksi pada badan kendaraan ( $Z_s$ ) untuk berbagai harga massa kendaraan ( $M_s$ ) .....	31
Gambar 4.5	Defleksi pada badan kendaraan ( $Z_s$ ) untuk berbagai massa ban ( $M_u$ ) .....	32
Gambar 4.6	Defleksi pada badan kendaraan ( $Z_s$ ) untuk berbagai koefisien Peredam (c) .....	32
Gambar 4.7	Defleksi rata-rata badan kendaraan untuk gangguan sinusoida .....	34
Gambar 4.8	Defleksi rata-rata per untuk gangguan sinusoida .....	34
Gambar 4.9	Sinyal gangguan random dengan amplituda 0,1 meter .....	35
Gambar 4.10	Amplituda defleksi badan kendaraan dengan masukan sinyal random dengan amplituda 0,1 meter .....	35
Gambar 4.11	Sinyal gangguan random dengan amplituda 0,03 meter .....	36
Gambar 4.12	Amplituda defleksi badan kendaraan dengan masukan sinyal random dengan amplituda 0,03 meter .....	36
Gambar 4.13	Suspensi semi-aktif .....	37
Gambar 4.14	Gambar skematis peredam variabel .....	37
Gambar 4.15	Sistem kontrol .....	40
Gambar 4.17	Fungsi segitiga .....	41
Gambar 4.18	Fungsi keanggotaan dan variabel linguistik .....	42

Gambar 4.19	Fungsi keanggotaan untuk himpunan fuzzy dengan nilai linguistik paling kecil dan paling besar .....	42
Gambar 4.20	Fungsi keanggotaan dan variabel linguistik untuk E .....	43
Gambar 4.21	Fungsi keanggotaan dan variabel linguistik untuk DE .....	43
Gambar 4.22	Fungsi keanggotaan dan variabel linguistik untuk U .....	44
Gambar 5.1	Defleksi badan kendaraan ( $Z_s$ ) untuk suspensi pasif dan suspensi semi-aktif dengan gangguan impuls .....	47
Gambar 5.2	Pengaruh perubahan koefisien peredam ( $b_s$ ) pada defleksi badan kendaraan ( $Z_s$ ) dengan gangguan impuls .....	48
Gambar 5.3	Pengaruh perubahan koefisien kekakuan pegas ( $k_s$ ) pada defleksi badan kendaraan ( $Z_s$ ) dengan gangguan impuls .....	49
Gambar 5.4	Pengaruh perubahan massa kendaraan ( $M_s$ ) pada defleksi badan kendaraan ( $Z_s$ ) dengan gangguan impuls .....	50
Gambar 5.5	Pengaruh perubahan massa ban ( $M_n$ ) pada defleksi badan kendaraan ( $Z_s$ ) dengan gangguan impuls .....	51
Gambar 5.6	Pengaruh perubahan koefisien peredam ( $c$ ) pada defleksi badan kendaraan dengan gangguan impuls .....	52
Gambar 5.7	Defleksi rata-rata badan kendaraan akibat gangguan sinusoida .....	54
Gambar 5.8	Defleksi rata-rata per akibat gangguan sinusoida .....	54
Gambar 5.9	Defleksi pada badan kendaraan akibat gangguan random dengan amplituda 0,1 meter ..	55
Gambar 5.10	Amplituda defleksi badan kendaraan akibat gangguan random dengan amplituda 0,03 meter .....	56
Gambar 5.11	Defleksi rata-rata ban untuk gangguan sinusoida .....	57
Gambar 5.12	Percepatan rata-rata badan kendaraan untuk gangguan sinusoida .....	58

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kenyamanan dalam berkendara sudah menjadi tuntutan bagi para pengendaranya. Sejalan dengan tuntutan kenyamanan yang semakin tinggi maka penelitian akan kenyamanan kendaraan dewasa ini banyak dilakukan.

Kondisi ideal yang ingin diperoleh dalam kenyamanan adalah kabin kendaraan diam ditempat walaupun ada gangguan yang berupa ketidakrataan jalan. Tetapi kondisi ini tidaklah mungkin dicapai, sehingga pendekatan yang ditempuh adalah meminimumkan efek gangguan yang berupa ketidakrataan jalan dengan memasang sistem suspensi diantara roda dan badan kendaraan.

Sistem suspensi pada kendaraan memegang peranan yang sangat penting dalam memperoleh kenyamanan. Selain dapat mempengaruhi kestabilan kendaraan dan daya lekat ban pada jalan, sistem suspensi berfungsi juga untuk mengurangi getaran pada kabin kendaraan yang disebabkan oleh ketidakrataan permukaan jalan. Umumnya suspensi kendaraan terdiri dari komponen *pasif*, yaitu komponen pegas dan komponen peredam. Sistem ini sangat dikenal dan cukup efektif untuk meredam getaran dari permukaan jalan. Namun demikian masih terdapat beberapa kendala, antara lain sistem tidak dapat menyesuaikan dengan keadaan jalan yang tidak rata. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan sistem peredam getaran dengan menggunakan komponen *aktif*.

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*. 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.

Keuntungan menggunakan sistem suspensi *aktif* adalah getaran yang timbul pada badan kendaraan akibat permukaan jalan yang bergelombang atau tidak rata dapat dikurangi dan peredam getaran dapat menyesuaikan dengan kondisi jalan. Kekurangannya adalah sistem suspensi tidak dapat berfungsi apabila sistem pengontrol mengalami kerusakan.

Jenis yang kedua adalah sistem suspensi *semi-aktif*. Sistem ini masih menggunakan sistem suspensi konvensional dengan menambah peredam yang dapat diatur. Keuntungan sistem ini adalah masih dapat berfungsi pada waktu sistem pengontrol mengalami kegagalan. Namun sistem ini sangat dipengaruhi oleh komponen-komponen *pasif* yang mempunyai harga karakteristik tertentu.

Berbagai macam penelitian telah dilakukan, dengan menggunakan berbagai macam model kendaraan, mulai dari model kendaraan seperempat sampai dengan model kendaraan penuh dengan menggunakan berbagai metoda kontrol. Pada penelitian tersebut model yang digunakan adalah linier, sedangkan untuk model yang nonlinier belum dilakukan<sup>[1][4][5][7][8]</sup>.

Pada makalah yang ditulis oleh D'Hrovat<sup>[7]</sup>, dibahas perancangan sistem suspensi aktif dengan menggunakan metoda kontrol optimal pada model kendaraan seperempat yang linier. Dengan menggunakan model yang sama, Purba<sup>[1]</sup> mengamati karakteristik suspensi aktif dengan menggunakan pendekatan regulator optimal. Demikian juga Edge C. Yeh dan Yon J. Tsao<sup>[5]</sup> membahas penggunaan fuzzy kontrol untuk suspensi aktif.

Acuan [4] membahas mengenai perancangan sistem suspensi *semi-aktif* dengan menggunakan strategi kontrol optimal. Model kendaraan yang digunakan adalah model kendaraan setengah.

Pada penelitian ini diajukan suatu perancangan sistem suspensi *semi-aktif* dengan menggunakan Kontrol Logika Fuzzy, yang akan diterapkan pada model yang nonlinier.

Teori kontrol konvensional memiliki kekurangan dalam aplikasi pada sistem nonlinier dan membutuhkan banyak waktu dalam pengembangannya. Teknologi Intelegensia Buatan lebih mudah dipelajari dibandingkan penyelesaian persamaan matematis kompleks yang digunakan dalam kontrol konvensional. Namun pendekatan ini belum dapat menangani masalah ketidakpastian yang timbul, seperti misalnya gangguan yang tidak diperkirakan sebelumnya. Solusi terbaik untuk masalah ini diperoleh dengan menggunakan variabel linguistik dan inferensi fuzzy yang dikemukakan dalam teori himpunan fuzzy.

Teori himpunan fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Disini dikemukakan secara implisit bahwa penalaran manusia lebih baik daripada mesin sebab manusia mampu mengambil keputusan yang efektif berdasarkan informasi linguistik yang tidak pasti. Sampai akhir tahun 1970-an perkembangan bidang baru ini belum begitu pesat dan sebagian besar masih bersifat teori sebelum munculnya satu aplikasi penting yaitu Kontrol Logika Fuzzy.

Prinsip dasar sebuah Kontrol Logika Fuzzy sebenarnya sangat sederhana yaitu berdasarkan pada suatu model logika yang merepresentasikan proses berfikir seorang operator ketika sedang mengontrol suatu sistem. Dengan demikian telah terjadi suatu pergeseran dari pemodelan sistem yang dikontrol menjadi pemodelan proses berfikir seorang pengontrol.

## **1.2 Pembatasan Masalah**

Dalam penelitian ini diasumsikan komponen yang nonlinier adalah peredam dengan mengabaikan gaya geseknya, sedang komponen yang lainnya adalah linier, dan semua parameter yang diperlukan dapat diukur. Sensor dan aktuator dapat bekerja secara idial. Sistem dianggap mempunyai satu derajat kebebasan (hanya bergerak ke arah vertikal).