

DOSEN MUDA



LAPORAN AKHIR

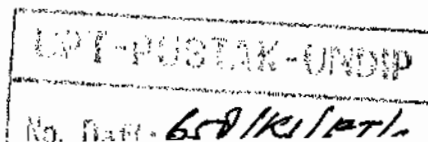
**PERANCANGAN SISTEM KONTROL SUSPensi AKTIF
MENGUNAKAN "KONTROL OPTIMAL LQR" PADA MODEL
KENDARAAN SETENGAH**

OLEH:

1. Iwan Setiawan, ST, MT
2. Sumardi, ST, MT
3. Wahyudi, ST, MT

**Dibiayai Oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan
Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian
Nomor: 031/SPPP/PP/DP3M/IV/2005 tanggal 11 April 2005**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
NOPEMBER 2005**

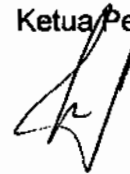


**IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHR
PENELITIAN DOSEN MUDA**

-
1. a. Judul Penelitian : Perancangan Sistem Kontrol Suspensi Aktif menggunakan " Kontrol Optimal LQR" pada Model Kendaraan Setengah
- b. Kategori : II
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Iwan Setiawan, ST, MT
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. Pangkat/ Golongan/ NIP : Penata Muda Tk I / III A / 132.283.183
- d. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- e. Fakultas/Jurusan : Teknik / Elektro
- f. Universitas : Diponegoro
- g. Bidang Ilmu : Teknologi
3. Jumlah Tim Peneliti : 3 orang
4. Lokasi Penelitian : Laboratorium Teknik Kontrol Otomatis, Teknik Elektro FT. UNDIP.
5. Kerjasama dengan Instansi lain : -
6. Jangka Waktu Penelitian : 8 bulan
7. Biaya yang dibutuhkan : Rp. 6.000.000,00
(Enam juta rupiah)
-

Semarang, 20 Nop 2005

Ketua Peneliti



Iwan Setiawan, ST,MT
NIP. 132 283 183



ABSTRAK

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

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem suspensi aktif pada model kendaraan setengah dengan menggunakan metoda kontrol optimal Linear Quadratic Regulator (LQR). Perancangan dilakukan dengan menggunakan beberapa harga matriks pembobot peubah keadaan Q yang berbeda. Hasil perancangan diuji dengan beberapa model gangguan yang diwakili oleh model sinyal sinus, model sinyal random dan sebuah model yang menggambarkan gundukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem suspensi aktif dengan pengontrol optimal yang telah dirancang dapat memberikan tingkat kenyamanan dan keamanan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan sistem suspensi pasif. Dengan gangguan gundukan, nilai percepatan vertikal badan kendaraan, defleksi suspensi depan dan belakang pada suspensi pasif berturut-turut adalah sebesar 0.576886 m/s^2 , 0.000752968 m dan 0.000336435 m . Pada suspensi aktif, hasil optimal diperoleh dengan $Q = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$, yang memberikan nilai percepatan vertikal badan kendaraan, defleksi suspensi depan dan belakang berturut-turut menjadi sebesar 0.535173 m/s^2 , 0.000492 m dan 0.000266 m . Dengan gangguan sinyal sinus, dan gangguan random sistem suspensi aktif dengan pengontrol optimal yang telah dirancang menghasilkan nilai maksimum percepatan vertikal badan kendaraan dan defleksi suspensi yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem suspensi pasif.

Kata Kunci : *Suspensi aktif, Kendaraan setengah, Kontrol optimal, Linear Quadratic Regulator (LQR), Matriks pembobot.*

ABSTRACT

A good suspension system should improve the passenger comfort and safety in ride car. To improve the passenger comfort and safety, it should minimize the vertical body acceleration and suspension deflection dedue to irregularities of the road surface.

In this research, a design of active suspension system on the half-car model by using optimal control Linear Quadratic Regulator (LQR) is conducted. A design is conducted by using some different of weighting matrix Q . 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 research showed that the designed active suspension system with optimal controller, can give better performance in ride comfort and safety than passive suspension system. With road bump disturbance, the value of the vertical body acceleration, the front suspension deflection and the rear suspension deflection using passive suspension system successively is 0.576886 m/s^2 , 0.000752968 m and 0.000336435 m . In Active suspension system, optimal result obtained with $Q=\text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$ wehereas give the value the vertical body acceleration, the front suspension deflection and the rear suspension deflection successively is become 0.535173 m/s^2 , 0.000492 m dan 0.000266 m . Using road sinusoidal disturbance, and road random disturbance the designed active suspension system with optimal controller can give lower maximum value of the vertical body acceleration and suspension deflection then passive suspension system.

Key word : Active suspension, Half-car, Optimal Control, Linear Quadratic Regulator (LQR), Weighting matrix.

KATA PENGANTAR

Assalaamu 'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Segala puji bagi Allah *Rabb* Seluruh alam semesta, karena atas rahmat, karunia, dan hidayah-NYA, sehingga pelaksanaan Penelitian dan laporan ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta Salam semoga tetap tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Dalam penulisan laporan Penelitian ini, Penulis menghadapi berbagai hambatan, namun akhirnya dengan berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan laporan Penelitian ini. Oleh karena itu, Penulis menyampaikan ucapan terima kasih, kepada :

1. Pemberi dana penelitian dalam hal ini Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi (P4T) Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.
2. Lembaga Penelitian Undip Yang memberika 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.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Penelitian ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun selalu Penulis harapkan demi kebaikan dan kesempurnaan di masa yang akan datang. Semoga laporan Penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menambah pengetahuan bagi kita semua.

Wassalaamu 'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh.

Semarang, Desember 2005

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
BAB II DASAR TEORI	3
2.1 Teori Kontrol Optimal	3
2.1.1 Persamaan Ruang Keadaan (<i>State-space</i>)	3
2.1.2 Sistem Kontrol Optimal <i>Linear Quadratic Regulator</i>	4
2.2 Sistem Suspensi Aktif	8
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	13
3.1 Tujuan Penelitian	13
3.2 Manfaat Penelitian	13
BAB IV METODOLOGI	14
4.1 Perancangan Sistem	14
4.1.1 Indeks Performansi	14
4.1.2 Keluaran Sistem	15
4.1.3 Standardisasi Persamaan Indeks Performansi	16
4.2 Program Utama	19

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	22
5.1 Respon Sistem dengan Gangguan Gundukan	22
5.1.1 Pengujian untuk Nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	23
5.1.2 Pengujian untuk Nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	24
5.1.3 Pengujian untuk Nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	25
5.1.4 Pengujian untuk Nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	27
5.1.5 Pengujian untuk Nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	28
5.2 Respon Sistem dengan Gangguan Sinus	31
5.2.1 Pengujian untuk Nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	32
5.2.2 Pengujian untuk Nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	32
5.2.3 Pengujian untuk Nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	33
5.2.4 Pengujian untuk Nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	34
5.2.5 Pengujian untuk Nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	34
5.3 Respon Sistem dengan Gangguan Random	35
5.3.1 Pengujian untuk Nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	35
5.3.2 Pengujian untuk Nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	38
5.3.3 Pengujian untuk Nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	40
5.3.4 Pengujian untuk Nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	42
5.3.5 Pengujian untuk Nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	44
 BAB VI PENUTUP	 47
6.1 Kesimpulan	47
6.2 Saran	48
 DAFTAR PUSTAKA	 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Blok diagram sistem kontrol optimal	5
Gambar 2.2	Model Kendaraan setengah sistem suspensi aktif	8
Gambar 4.1	Diagram blok sistem suspensi dengan gangguan	18
Gambar 4.2	<i>Flowchart</i> program utama pengaturan sistem suspensi aktif dengan menggunakan pengontrol optimal LQR	19
Gambar 5.1	Gangguan gundukan	22
Gambar 5.2	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	23
Gambar 5.3	Defleksi suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	23
Gambar 5.4	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	24
Gambar 5.5	Defleksi suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	25
Gambar 5.6	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	26
Gambar 5.7	Defleksi suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	26
Gambar 5.8	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	27
Gambar 5.9	Defleksi suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	28
Gambar 5.10	Percepatan badan kendaraan sistem suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	29
Gambar 5.11	Defleksi suspensi dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	29
Gambar 5.12	Gangguan sinyal random	35
Gambar 5.13	Grafik percepatan vertikal badan kendaraan dengan gangguan sinyal	

	random untuk nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	36
Gambar 5.14	Defleksi suspensi depan dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	37
Gambar 5.15	Defleksi suspensi belakang dengan gangguan gundukan untuk nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	37
Gambar 5.16	Grafik percepatan vertikal badan kendaraan dengan gangguan sinyal random untuk nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	38
Gambar 5.17	Defleksi suspensi depan dengan gangguan random untuk nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	39
Gambar 5.18	Defleksi suspensi belakang dengan gangguan random untuk nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	39
Gambar 5.19	Grafik percepatan vertikal badan kendaraan dengan gangguan sinyal random untuk nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	40
Gambar 5.20	Defleksi suspensi depan dengan gangguan random untuk nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	41
Gambar 5.21	Defleksi suspensi belakang dengan gangguan random untuk nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	41
Gambar 5.22	Grafik percepatan vertikal badan kendaraan dengan gangguan sinyal random untuk nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	42
Gambar 5.23	Defleksi suspensi depan dengan gangguan random untuk nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	43
Gambar 5.24	Defleksi suspensi belakang dengan gangguan random untuk nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	43
Gambar 5.25	Grafik percepatan vertikal badan kendaraan dengan gangguan sinyal random untuk nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	44
Gambar 5.26	Defleksi suspensi depan dengan gangguan random untuk nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	45
Gambar 5.27	Defleksi suspensi belakang dengan gangguan random untuk nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Harga parameter suspensi	12
Tabel 5.1	Nilai percepatan badan kendaraan dengan gangguan gundukan untuk $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	24
Tabel 5.2	Defleksi suspensi dengan gangguan gundukan untuk $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	24
Tabel 5.3	Nilai percepatan badan kendaraan dengan gangguan gundukan untuk $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	25
Tabel 5.4	Defleksi suspensi dengan gangguan gundukan untuk $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	25
Tabel 5.5	Hasil variasi massa kendaraan	31
Tabel 5.6	Hasil simulasi dengan gangguan sinusoida untuk nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	32
Tabel 5.7	Hasil simulasi dengan gangguan sinusoida untuk nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	33
Tabel 5.8	Hasil simulasi dengan gangguan sinusoida untuk nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	33
Tabel 5.9	Hasil simulasi dengan gangguan sinusoida untuk nilai $Q_4 = \text{diag}(10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	34
Tabel 5.10	Hasil simulasi dengan gangguan sinusoida untuk nilai $Q_5 = \text{diag}(10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	35
Tabel 5.11	Defleksi Suspensi dengan gangguan random untuk nilai $Q_1 = \text{diag}(10 \ 10 \ 10)$	38
Tabel 5.12	Defleksi Suspensi dengan gangguan random untuk nilai $Q_2 = \text{diag}(10^3 \ 10^3 \ 10^3)$	40
Tabel 5.13	Defleksi Suspensi dengan gangguan random untuk nilai $Q_3 = \text{diag}(10^5 \ 10^5 \ 10^5)$	42
Tabel 5.14	Defleksi Suspensi dengan gangguan random untuk nilai	

$Q_4 = \text{diag} (10^5 \ 10^6 \ 10^7)$	44
Tabel 5.15 Defleksi Suspensi dengan gangguan random untuk nilai	
$Q_5 = \text{diag} (10^5 \ 10^7 \ 10^7)$	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenyamanan dan keamanan dalam berkendara tentunya sudah menjadi tuntutan bagi para pengendaranya. Faktor kenyamanan ditentukan oleh percepatan gerak vertikal dari badan kendaraan, semakin kecil gerak vertikal badan kendaraan, maka akan semakin baik pula faktor kenyamanannya. Sedangkan faktor keamanan dipengaruhi oleh daya lekat ban pada permukaan jalan dan defleksi per pada sistem suspensi. Untuk memberikan faktor keamanan yang baik, maka diusahakan agar ban dapat melekat pada permukaan jalan dengan baik dan defleksi per diusahakan sekecil mungkin^[13].

Sistem suspensi pada kendaraan memegang peranan yang sangat penting dalam memperoleh kenyamanan dan keamanan. Selain dapat mempengaruhi kestabilan kendaraan dan daya lekat ban pada jalan, sistem suspensi juga berfungsi untuk mengurangi getaran pada kabin kendaraan yang disebabkan oleh ketidakrataan permukaan jalan. Umumnya suspensi kendaraan terdiri atas 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, yang kemudian dikenal dengan sistem suspensi 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.^{[5][13]}

Banyak penelitian telah dilakukan dalam mengontrol suspensi kendaraan dengan menggunakan berbagai macam model kendaraan dan dengan berbagai metoda kontrol, untuk mendapatkan redaman yang tinggi akibat adanya gangguan ketidakrataan permukaan jalan. Pada penelitian ini diajukan suatu perancangan pengaturan sistem suspensi aktif dengan menggunakan Kontrol Optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR), yang akan diterapkan pada model kendaraan setengah.

Suatu sistem proses akan dapat dikontrol jika terlebih dahulu dibuat model matematis yang menghubungkan antara masukan (*input*), proses dan keluaran (*output*). Pada sistem kontrol optimal, model yang banyak digunakan adalah model persamaan keadaan (*state space*). Dalam persamaan keadaan, persamaan differensial dari sistem yang semula berorde n diubah menjadi n persamaan differensial berorde satu secara simultan dan ditulis dalam notasi vektor matriks.^{[6][9]}

Sistem kontrol optimal dapat diterapkan pada sistem proses yang kompleks dengan menggunakan model persamaan keadaan. Sistem kontrol optimal dapat digunakan untuk mengontrol sistem proses dengan banyak masukan dan banyak keluaran (MIMO).^[2]

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai penelitian ini adalah :

1. Merancang pengaturan suspensi mobil dengan menggunakan kontrol optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR), agar dihasilkan kenyamanan dan keamanan dalam berkendara, khususnya pengurangan percepatan vertikal badan kendaraan dan defleksi suspensi akibat adanya gangguan ketidakrataan permukaan jalan.
2. Mengetahui pengaruh perubahan nilai matriks Q pada teknik kontrol optimal *Linear Quadratic Regulator* (LQR) terhadap respon sistem.