

PEREDAMAN OSILASI GETARAN PADA SUATU SISTEM DENGAN PEMODELAN PEGAS-DAMPER MENGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY

Nazrul Effendy, Singgih I Kurniawan, Intan Putri K dan Nor Agny Susetyo Utami

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281

Email: nazrul@gadjahmada.edu , shinji_mellomaniac@yahoo.co.id , noragnysetia@gmail.com

Abstrak

Osilasi pada sistem yang tidak diharapkan sangat mengganggu terutama untuk efek kenyamanan yang dirasakan oleh manusia. Sistem yang dimodelkan dengan pegas-damper akan mempunyai respon ketika diberi gaya luar. Respon tersebut adalah osilasi dari sistem yang akan membutuhkan waktu untuk mencapai keadaan steady state. Jika respon steady state bisa dipercepat dengan menghilangkan osilasi dari sistem seoptimal mungkin maka getaran dapat direduksi. Hal ini dapat dilakukan dengan pemilihan bahan yang memiliki koefisien pegas-damper yang sesuai. Tentu saja ini akan membutuhkan cost yang tinggi. Sistem pengendali logika Fuzzy akan mengontrol aktuator yang berupa pegas yang memberikan gaya yang berlawanan dengan pegas pada sistem. Respon pada pegas aktuator didasarkan pada respon output sistem yang dijadikan input Fuzzy Logic Controller dan kemudian mengontrol aktuator sehingga akan mendapatkan respon steady state dengan respon waktu yang diharapkan.

Kata kunci: fuzzy logic control, pegas, damper

1. PENDAHULUAN

Sistem mekanik yang bekerja sering kali menimbulkan suatu permasalahan yang sulit dihindari yaitu getaran yang berlebihan. Getaran ini apabila tidak diantisipasi maka akan menyebabkan kegagalan fungsi pada mesin, perasaan tidak nyaman pada penumpang (dalam sistem suspensi) dan suara yang mengganggu yang timbul dari sistem tersebut. Oleh karena itu, pemodelan suatu sistem mekanik diperlukan untuk mengetahui karakteristik dari sistem itu sendiri. Karakteristik sistem merupakan kata kunci yang ampuh bagi kita untuk memberikan solusi dalam meredam getaran sistem yang berlebihan. Kendali getaran pada sistem dengan pegas dan damper sederhana belum banyak dilakukan. Kendali ini penting agar sistem berjalan sesuai kriteria desain ideal instrumen dan menghemat biaya yang harus dikeluarkan untuk perawatan dan perbaikan sistem yang mengalami getaran berlebihan. Teknik algoritma yang diimplementasikan ke dalam pengendali adalah algoritma logika fuzzy. Algoritma ini cukup sederhana namun terbukti cukup baik dalam meredam getaran berlebihan dibandingkan dengan pengendali PID.

2. SISTEM OSILASI TEREDAM

Osilasi menurut kesepakatan adalah fenomena alami yang terjadi apabila sistem diganggu dari posisi kesetimbangan. Osilasi ini terjadi secara terus-menerus selama sistem masih diberi usikan berupa gaya. Salah satu gerak osilasi yang umum adalah gerak harmonik sederhana. Syarat gerak harmonik sederhana yaitu bila percepatan benda berbanding lurus dan arahnya berlawanan dengan simpangan, maka benda akan bergerak dengan gerak harmonik sederhana. Perumusan sederhana pada pegas yaitu :

$$F_x = -K_x \text{ (Hukum Hooke).} \quad (1)$$

Tanda minus menunjukkan bahwa terdapat gaya pemulih (gaya yang menuju posisi kesetimbangan) apabila diberikan gaya simpangan. Kemudian hubungannya dengan percepatan :

$$F_x = -Kx = ma = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2)$$

sehingga $a = \frac{d^2x}{dt^2} = -(k/m)x$ atau $a_x = -\omega^2x$.

Pada sistem osilasi energi mekanik terdisipasi akibat gaya geseknya. Jika energi mekaniknya berkurang maka dapat diartikan bahwa gerak pada sistem teredam. Sehingga persamaan yang melibatkan osilasi dan redaman ditulis sebagai berikut :

$$F_{total} = F_{pegas} + F_{peredam} \quad (3)$$

$$F_{pegas} = -Kx \text{ dan } F_{peredam} = -bv \quad (4)$$

$$M \frac{dv}{dt} = -Kx -bv \quad (5)$$

Peredaman dari osilator yang teredam sedikit biasanya dinyatakan dengan suatu besaran tak berdimensi Q yang disebut sebagai faktor kualitas atau faktor Q dengan perumusan :

$$Q = 2 \pi E / |\Delta E| \tag{6}$$

$$E = \text{Energi Total} \tag{7}$$

$$|\Delta E| = \text{Energi yang hilang dalam periode waktu} \tag{8}$$

Ada 4 karakteristik sistem osilasi berdasarkan respon alami :

1. Osilasi teredam secara berlebihan (Overdamped response)
2. Osilasi teredam sedikit (Underdamped response)
3. Osilasi teredam kritis (Critically damped response)
4. Osilasi tidak teredam (Undamped Respon)

3. PEMODELAN SISTEM

Dalam dunia kendali ada step-step perancangan yang ditempuh agar sistem sesuai dengan kriteria desain yang diinginkan. Step tersebut antara lain :

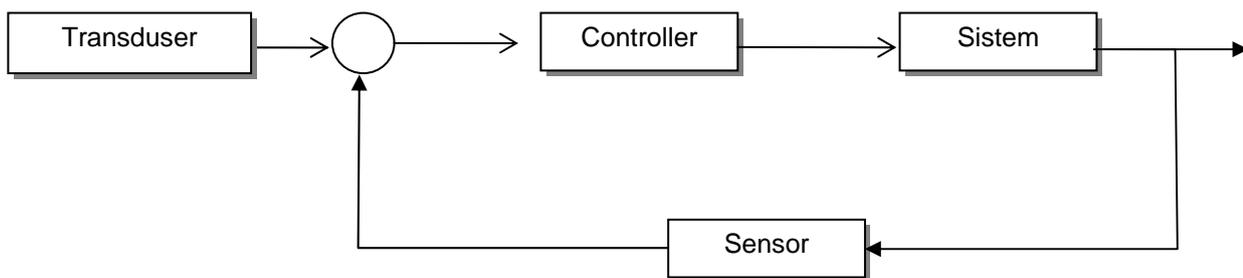
1. Identifikasi Sistem
2. Blok Diagram Sistem
3. Pemodelan
4. Analisis Pemodelan
5. Fungsi Transfer
6. Penentuan Kestabilan Sistem
7. Penggunaan pengendali
8. Meninjau spesifikasi yang diinginkan.

Pembahasan mengenai step di atas akan dijabarkan secara terbatas. Hal yang pertama dilakukan adalah identifikasikan sistem. Pada penelitian ini, sistem peredam dari pegas dan damper diubah menjadi fungsi Laplace. Tabel 1 menampilkan fungsi Laplace dari tiap komponen.

Tabel 1. Fungsi Laplace komponen-komponen sistem pegas-damper

Komponen	Force-Velocity	Force-Displacement	Impedans
Pegas	$f(t) = K \int v(t) dt$	$f(t) = Kx(t)$	K
Viskos Damper	$f(t) = f_v v(t)$	$f(t) = f_v dx(t)/dt$	$f_v s$
Massa	$f(t) = M dv(t)/dt$	$f(t) = M d^2 x(t)/dt^2$	Ms^2

Blok diagram sistem secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

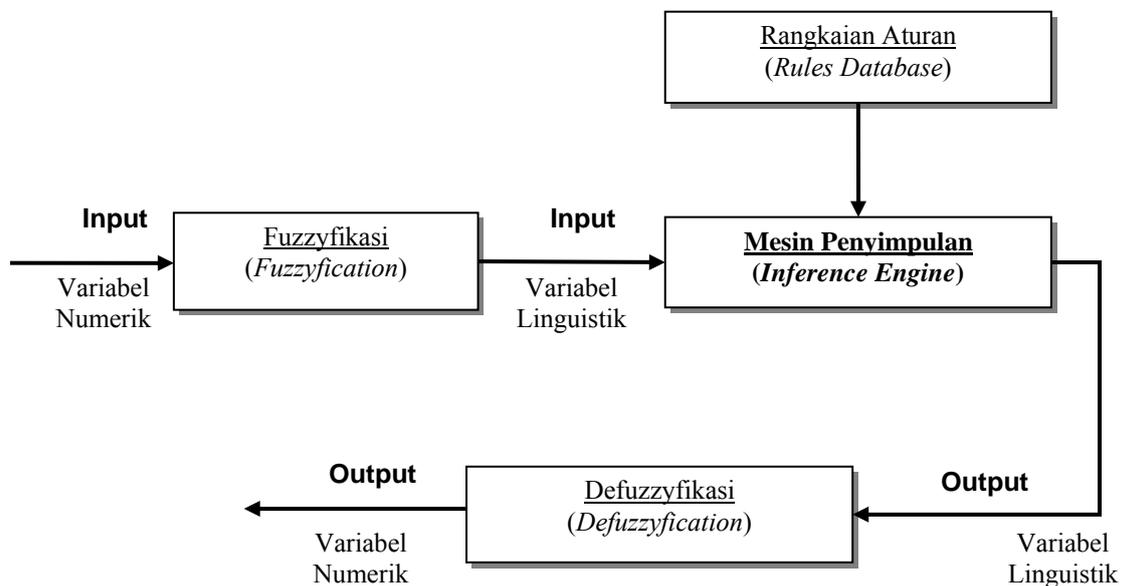
Karakteristik plant yang sudah diperoleh melalui fungsi transfer memberikan informasi bagi kita dalam menganalisis sistem. Informasi itu diantaranya :

- ❖ Natural Frequency
- ❖ Damping Ratio, $\zeta = \text{Exponential decay Frequency} / \text{Natural frequency (rad/second)} = 1 / 2 \pi \text{ Natural period (seconds)/exponential time constant}$
Atau $\zeta = \text{Exponential decay Frequency} / \text{Natural frequency} = |\sigma| / \omega_n = a / 2 \omega_n$
 $G(s) = b/s^2 + as + b$ atau $G(s) = \omega_n^2 / s^2 + 2 \zeta \omega_n s + \omega_n^2$
 $\omega_n^2 = b$ dan $2 \zeta \omega_n s = a$. $\zeta > 1$, maka sistem teredam berlebihan. Jika $\zeta = 1$, sistem teredam kritis, sedangkan $\zeta < 1$ maka sistem teredam sedikit. $\zeta = 0$ maka sistem tidak mengalami peredaman.

- ❖ Untuk sistem teredam sedikit ada tambahan karakteristik lagi yaitu :
% Os dan Settling Time. Kedua sifat ini sangat penting karena mendominasi sistem. Percent Overshoot menunjukkan bahwa sistem apabila dikenai suatu masukan maka ia akan melonjak atau istilahnya kaget namun akan segera stabil (stabil maksudnya sistem berjalan konstan sesuai dengan paksaan input). Pada peredaman sistem dengan menggunakan pegas dan damper %OS diusahakan seminimal mungkin supaya sistem tidak rusak dan tahan lama sedangkan settling time adalah waktu sistem yang tadinya berosilasi menuju steady-state. Settling time diusahakan cepat supaya sistem cepat stabil. Kalau pada sistem suspensi mobil, pada saat mobil melewati jalan yang berlubang maka frekuensi lonjakan akan dikurangi supaya penumpang tidak merasa mual atau pusing.

4. KENDALI LOGIKA FUZZY

Logika Fuzzy atau logika samar adalah logika dengan himpunan yang memiliki nilai keanggotaan dari rentang 0 hingga 1. Keanggotaan Fuzzy memberikan suatu ukuran terhadap pendapat. Sistematika pada logika Fuzzy dinyatakan pada diagram di Gambar 2.



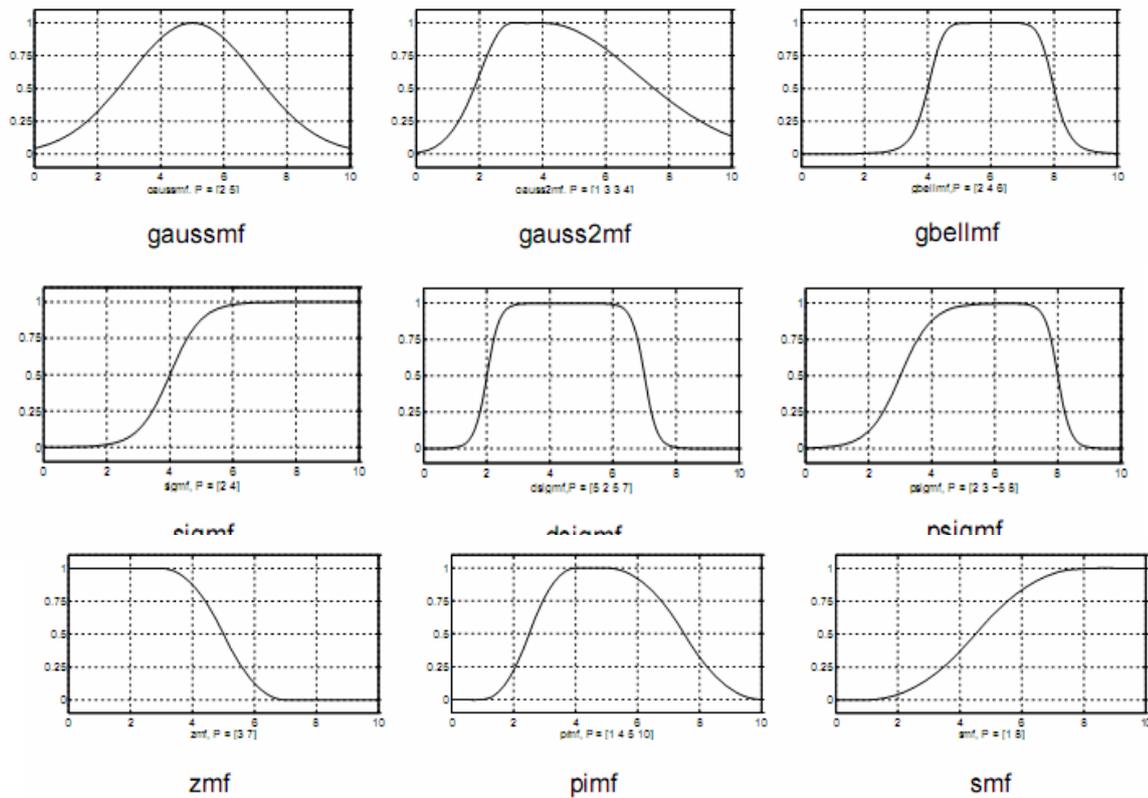
Gambar 2. Sistem kendali logika fuzzy

Himpunan fuzzy memiliki dua atribut yaitu :

1. Linguistik : Penamaan suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu. Sebagai contoh : KASAR, HALUS
2. Numeris : Suatu nilai atau angka yang menunjukkan ukuran variabel.

Fungsi Keanggotaan Fuzzy terdiri dari (lihat Gambar 3):

1. Representasi Linear
2. Representasi Kurva Segitiga
3. Representasi Kurva Trapesium
4. Representasi Kurva Bentuk Bahu



Gambar 3. Jenis-jenis representasi keanggotaan fuzzy

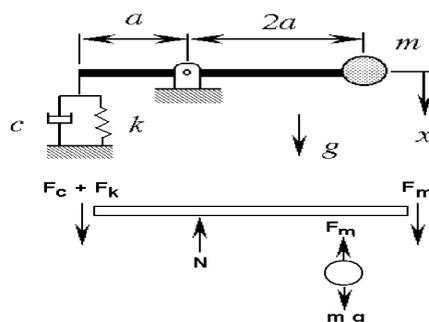
5. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilaksanakan antara lain :

1. Identifikasi Masalah
 Identifikasi permasalahan mengenai peredaman pada sistem dengan pegas dan damper didapat dari hasil diskusi bersama. Kami melihat bahwa sistem peredaman dengan menggunakan pegas dan damper jarang digunakan padahal sistem pegas dan damper merupakan sistem mekanik yang paling dominan. Contohnya kegagalan pada mesin akrobat getaran berlebih dan dalam jangka waktu yang lama.
2. Pelaksanaan perancangan
 Pelaksanaan perancangan peredaman dengan pegas dan damper dilakukan dengan identifikasi sistem dan dimodelkan ke persamaan matematis. Kemudian diubah dengan transformasi laplace ke dalam state-space supaya bisa dimodelkan dengan program MatLab tepatnya simulink. Baru proses analisis sistem dilakukan. Dari proses itu, kita mendapatkan karakteristik sistem sebelum diberi pengendali. Setelah itu baru merancang algoritma fuzzy dan menentukan range kendali yang akan dibuat aturan fuzzy.

6. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem yang akan dikendalikan diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem pegas-damper

Persamaan matematis dari sistem pegas-damper adalah

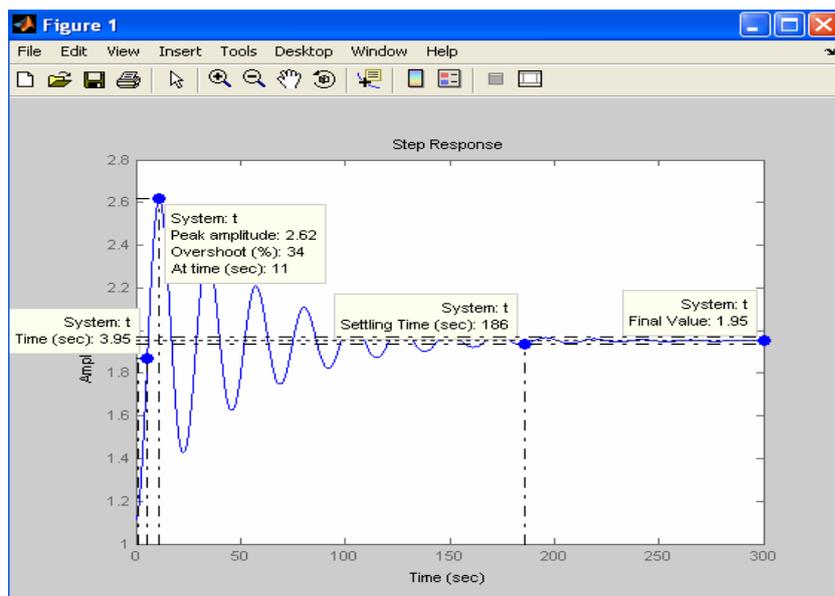
$$m\ddot{x} + \frac{1}{4}c\dot{x} + \frac{1}{4}kx = mg \quad (9)$$

Program matlab untuk merealisasikan Persamaan (9) adalah sebagai berikut :

```
>> g=tf(num,den)
Transfer function:
-39.25 s^2 - 2.45 s - 5.125
-----
      4 s^2 + s + 2.5
>> t=feedback(g,1)
Transfer function:
39.25 s^2 + 2.45 s + 5.125
-----
35.25 s^2 + 1.45 s + 2.625

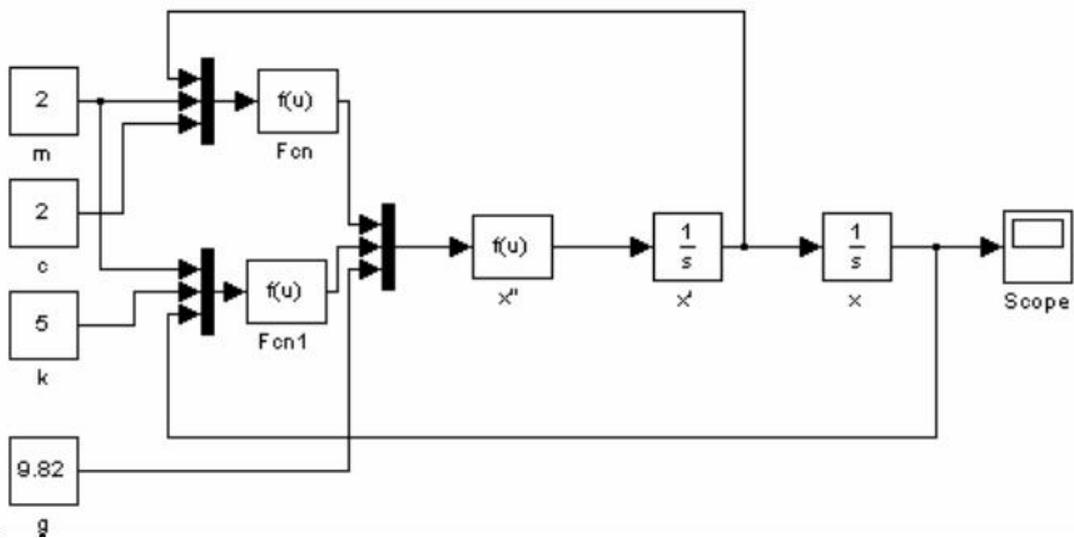
>> step(t)
```

Setelah disimulasikan menggunakan matlab, maka diperoleh karakteristik sistem yang belum diberi pengendali. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.

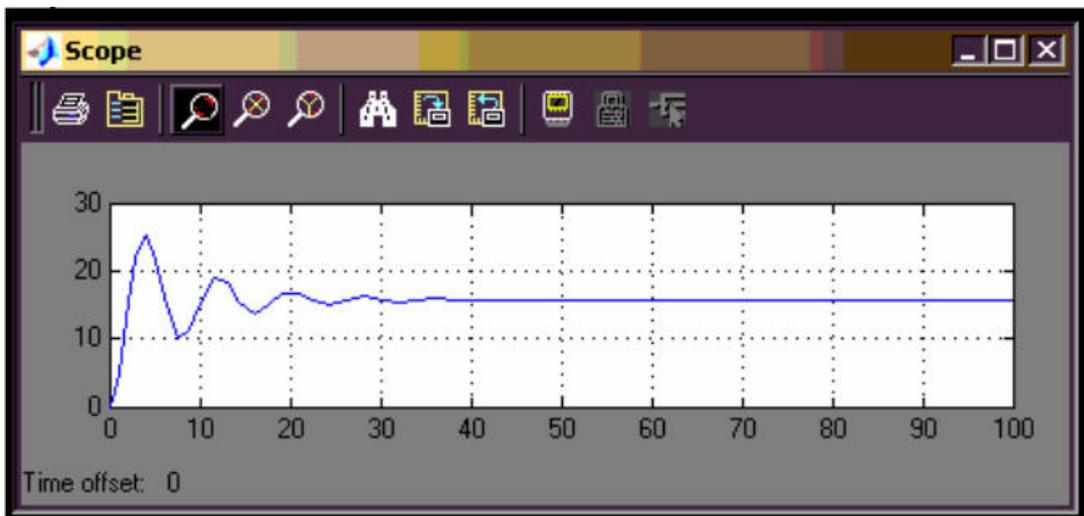


Gambar 5. Step respon sistem pegas-damper

Simulasi yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan simulink dengan persamaan state-space. Pemodelannya ditunjukkan pada Gambar 6.

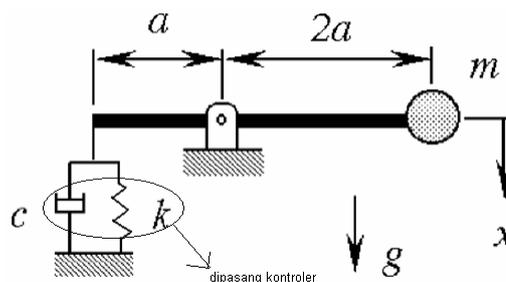


Gambar 6. Blok simulink sistem pegas-damper



Gambar 7. Step respon sistem pegas-damper

Dari grafik pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa system yang belum diberi kendali mengalami osilasi dan pada system tersebut dibutuhkan waktu yang lama untuk menuju kestabilan. Agar didapatkan system yang mempunyai setting time yang relatif cepat maka dirancang controller berupa gaya (F) yang berada di antara pegas dan damper (Sihana, 2007). Gaya tersebut akan mengontrol variabel kecepatan osilasi yang ditimbulkan oleh plant. Sehingga diharapkan plant akan segera menuju pada keadaan setimbang sesaat setelah menerima gaya luar.

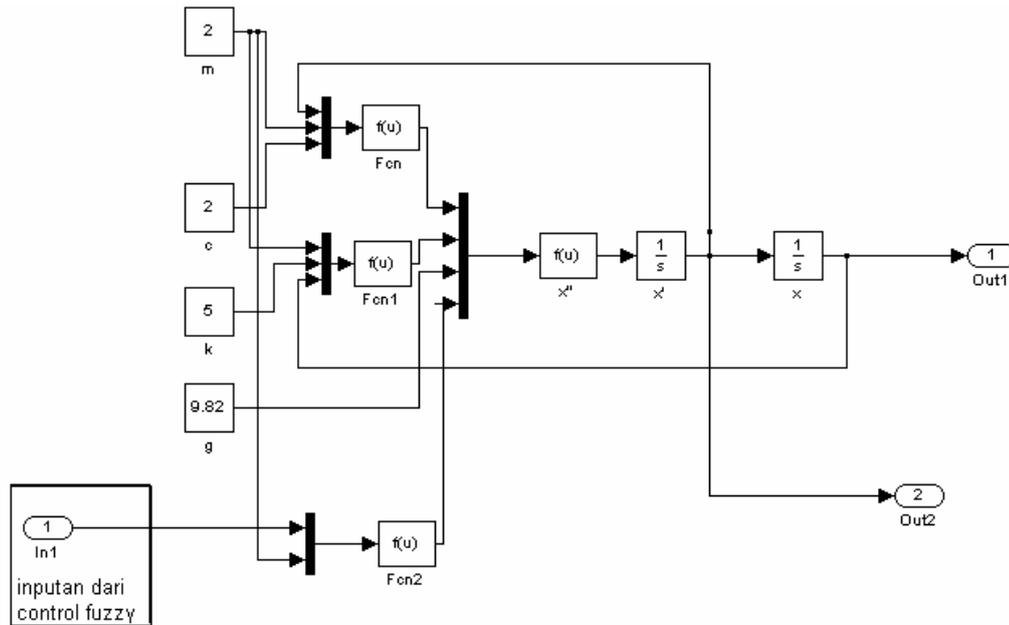


Gambar 8. Pemodelan Sistem pegas-damper dengan pengontrol

Persamaan matematis dari sistem pegas-damper dengan pengontrol (Gambar 8) adalah

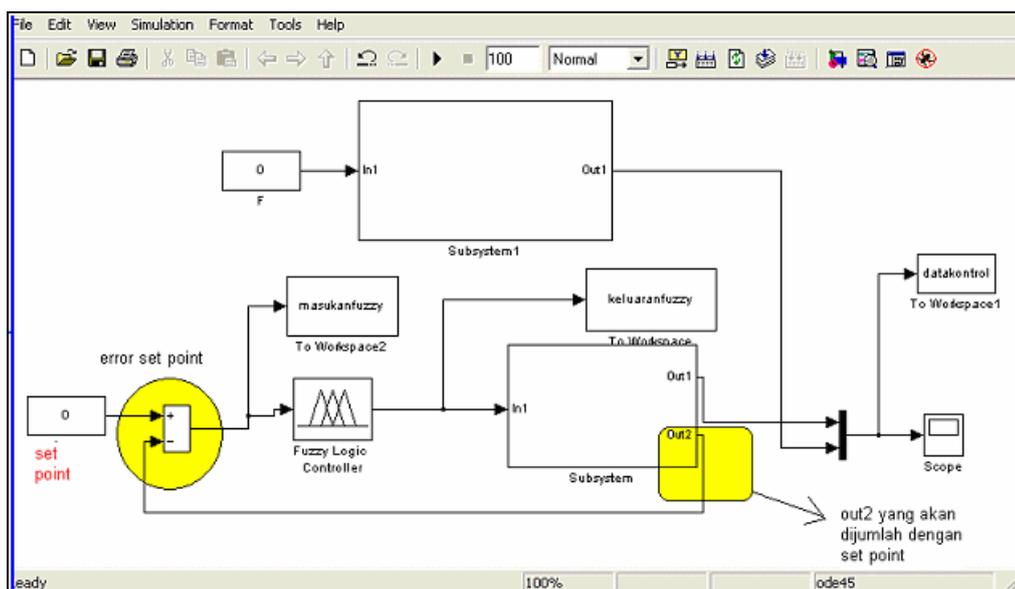
$$m\ddot{x} + \frac{1}{4}c\dot{x} + \frac{1}{4}kx = mg - \frac{F}{2} \quad (10)$$

Sehingga diharapkan jika respon dari sistem berhasil dan memiliki overshoot yang tinggi maka gaya akan diberikan oleh controller yang diharapkan akan mereduksi overshoot dari sistem tersebut. Rancangan awal dari controller yang menggunakan simulink ditunjukkan pada Gambar 9.



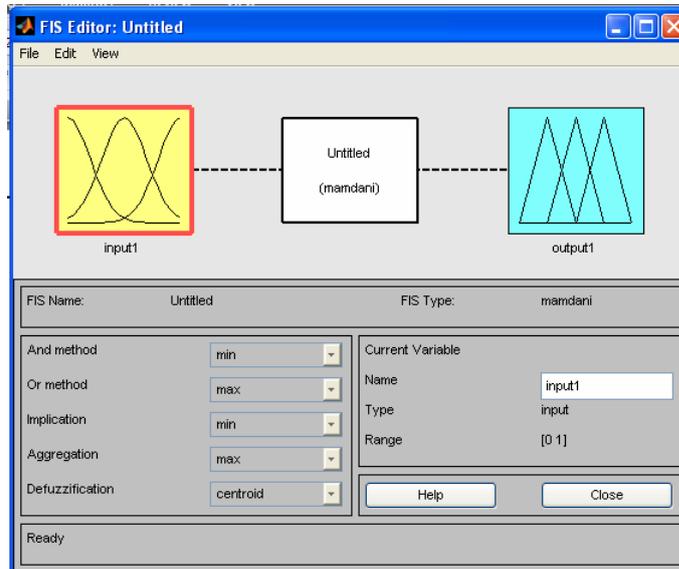
Gambar 9. Blok Diagram Plant Sistem Terkontrol

Out2 adalah variable yang akan dikontrol yang berasal dari plan yang kemudian dijumlahkan dengan set point agar didapat error. Dari error tersebut fuzzy akan menentukan besaran gaya keluaran yang dinamis. Gaya tersebut akan dijadikan input pada plan seperti yang digambarkan pada Gambar 10.



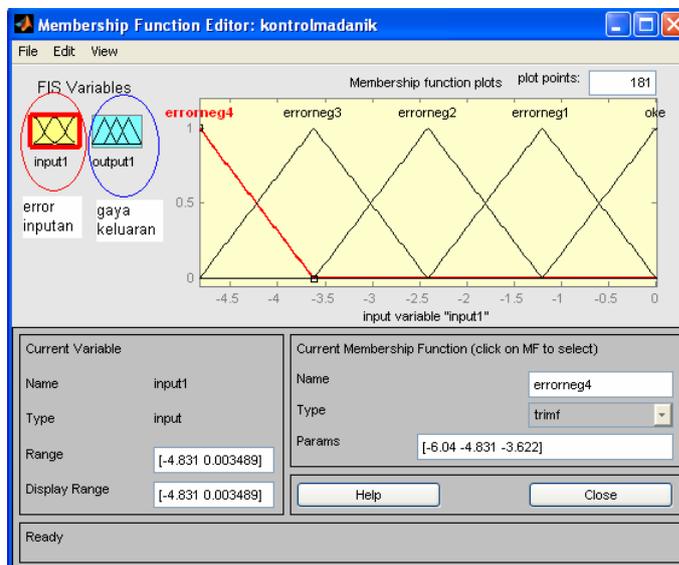
Gambar 10. Blok Diagram Plant Sistem Terkontrol Dengan Fuzzy

Fuzzy yang digunakan menggunakan mode mamdani seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

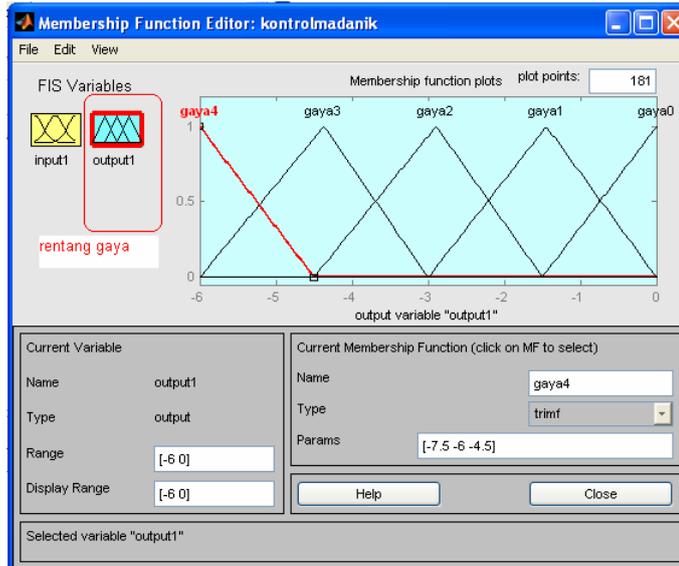


Gambar 11. Fuzzy Mode Mamdani

Error dari set point dibuat fungsi keanggotaan fuzzy. Data rentang error dicari menggunakan percobaan simulasi di mana rentang error tersebut diresponkan dengan gaya keluaran yang dibuat rentang gayanya juga agar sistem bisa tetap stabil dan mendapatkan setting time yang relative lebih cepat. Fungsi keanggotaan error input dan gaya ouput ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13.

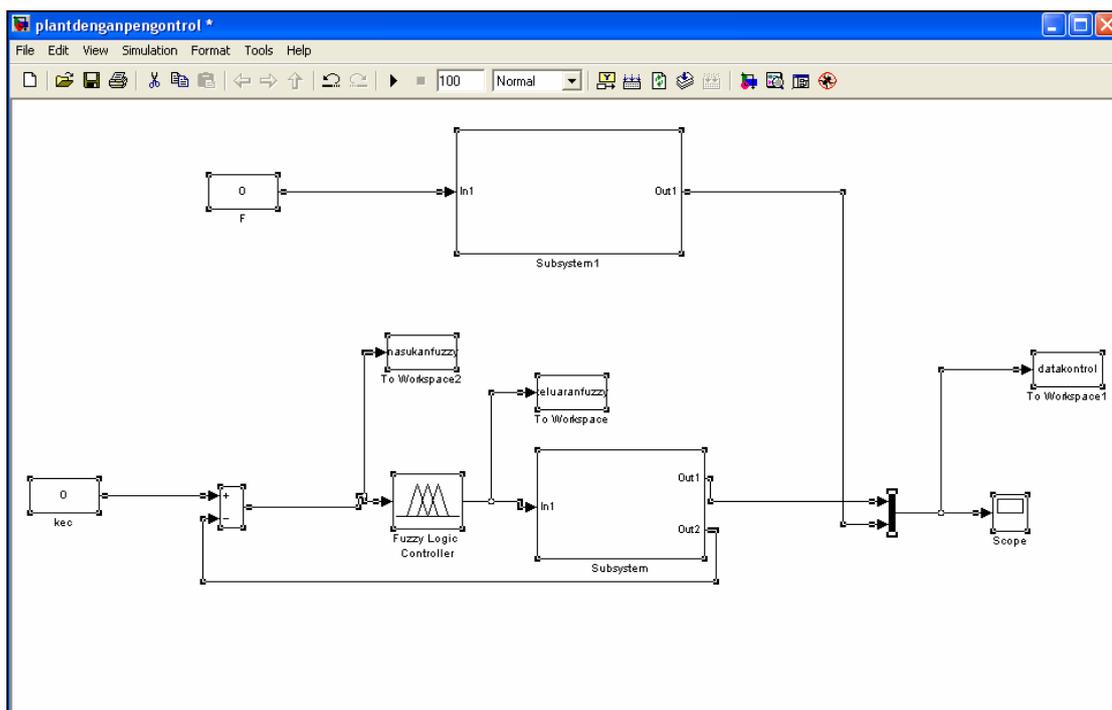


Gambar 12. Fungsi Keanggotaan Error Input



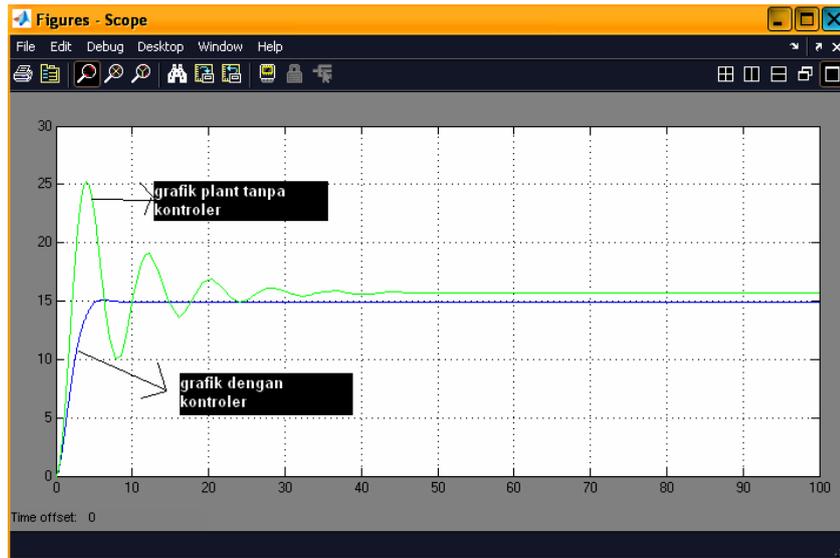
Gambar 13. Fungsi Keanggotaan Gaya Output

Bentuk rancangan plant yang telah diberi pengontrol yang dibandingkan dengan plant yang belum diberi kontroler ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Blok Diagram Sistem Terkontrol dan Tanpa Pengontrol

Hasil simulasi dari plant pada Gambar 14 ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Perbandingan Antara Sistem Terkontrol dan Tanpa Pengontrol

Dari perbandingan kedua grafik pada Gambar 15 dapat disimpulkan bahwa pengontrol dapat memberikan respon setting time yang relative lebih cepat jika dibandingkan tanpa pengontrol. Hal yang lain yang bisa dijadikan pertimbangan adalah respon yang langsung menuju keadaan steady state dan mempunyai ripple yang jauh lebih baik jika dibandingkan tanpa pengontrol. Sistem seperti ini sangat cocok jika diterapkan pada sistem yang dinamis. Jika pada sistem statis kita bisa mendapatkan bahan yang mempunyai nilai konstanta damper dan konstanta pegas yang sesuai dengan sistem dengan cara mensimulasikannya terlebih dahulu. Namun jika pada sistem dinamis jika konstanta pegas maupun damper sudah ditentukan nilainya maka sistem tidak dapat mengikuti keinginan dari perancang yang menginginkan respon yang berbeda pada setiap perubahan keadaan. Melalui simulasi yang telah dibuat, sistem dengan pengontrol logika fuzzy bisa selalu mengikuti keinginan perancang yang menginginkan respon tertentu untuk setiap perbedaan keadaan.

7. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa kondisi respon dari plant yang telah diberi kontroler hasilnya lebih baik. Kontroler pada plant ini cocok untuk kondisi dinamis yang mendapatkan gaya yang berbeda-beda pada setiap keadaan yang berbeda namun tetap memiliki respon yang baik.

8. DAFTAR PUSTAKA

- Norman S. Nise John wiley & sons, 2004, *Control Sistem Engineering*, fourth edition, California State Polytechnic University, Pomona.
- Paul A. Tipler, 1991, *Physics for Science and Engineering*, worth publisher, Inc.
- E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plants," *Proc. Inst. Elec. Eng.*, vol. 121, 1974
- Sihana, 2007, *Bahan Kuliah Dinamika Sistem*, UGM, Yogyakarta